

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Lucie Šajnarová

**VLIV HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ NA KVALITU POVRCHOVÝCH VOD
V PRAMENNÝCH OBLASTECH. APLIKACE V MODELOVÉM POVODÍ HORNÍ
ROLAVY.**

**IMPACTS OF HYDROLOGICAL EXTREMES ON SURFACE WATER QUALITY IN
HEADWATER AREAS. APPLICATION IN THE MODEL STUDY AREA OF THE
UPPER ROLAVA CATCHMENT.**

Bakalářská práce

Praha 2021

Vedoucí práce/Školitel: RNDr. Milada Matoušková, Ph. D.

Zadání bakalářské práce

Název práce

Vliv hydrologických extrémů na kvalitu povrchových vod v pramenných oblastech. Aplikace v modelovém povodí horní Rolavy.

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je studium vlivu hydrologických extrémů na kvalitu povrchových vod v pramenných oblastech s výskytem rašelinišť. Zkoumána bude jakost povrchové vody ve vybraných periodách při extrémních odtokových událostech, detailněji bude analyzován vztah konduktivity a průtoků pomocí hysterézních smyček v experimentálním povodí Slatinného potoka. Součástí práce je rešerše odborné literatury se zaměřením na změny kvality vody v obdobích hydrologických extrémů v pramenných oblastech.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Rešerše zahraniční i české literatury a poznatků k danému tématu

Příprava, kontrola a homogenizace datových řad

Analýza odtokových a srážkových poměrů v povodí

Analýza vztahu průtoků a konduktivity

Vyhodnocení geochemických dat poskytnutých KFFG PŘF UK a ČHMÚ

Diskuze a závěr

Datové zdroje

Odborná literatura, mapové a datové podklady, data KFFG PŘF UK a ČHMÚ

Datum zadání: 6. listopadu 2020

Student: Lucie Šajnarová

Podpis studenta:

Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph. D.

Podpis vedoucího:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 8. 7. 2021

Lucie Šajnarová

podpis studenta

Ráda bych tímto poděkovala zejména RNDr. Miladě Matouškové, Ph. D. za vedení bakalářské práce, konzultace, výjezd do terénu, poskytnuté rady a veškerý čas věnovaný mé bakalářské práci. Děkuji také Mgr. Kateřině Fraindové a Mgr. Vojtěchu Vlachovi za odborné konzultace a poskytnutí doplňujících dat. Děkuji také svým blízkým, kteří mi během zpracování bakalářské práce poskytli oporu.

Abstrakt

Srážko-odtokové extrémy v pramenných oblastech toků mají výrazný vliv na změny v geochemismu povrchových vod, které jsou navíc ovlivňovány rašeliništi v povodí. Mezi hlavní cíle této práce patří rešerše odborné literatury na téma změn geochemismu povrchových vod v pramenných oblastech s rašeliništi v povodí v reakci na srážko-odtokové extrémy. Dále byla provedena analýza odtokových a srážkových poměrů v hydrologických letech 2018, 2019 a 2020 a analýza změn parametrů kvality vody v závislosti na srážko-odtokových extrémech pro období od roku 2013 do roku 2020. Vztah konduktivity a průtoku byl sledován pomocí hysterézních smyček. V práci byla využita data z experimentálního profilu KFGG PŘF UK na Slatinném potoce a data o průtocích pro profil Chaloupky na Rolavě od ČHMÚ. Výsledky ukázaly, že vztah konduktivity a průtoku lze analyzovat pomocí hysterézních smyček zejména v obdobích při rychlém zvýšení průtoků a jejich tvar se mění v závislosti na prekonici povodí. Závislost na průtoku byla pozorována také u jiných parametrů, například u železa.

Klíčová slova: hydrologické sucho, povodeň, kvalita povrchové vody, rašeliniště, elektrická vodivost, hysterézní smyčka

Abstract

Precipitation-runoff extremes in the source areas have a significant effect on changes in the geochemism of surface waters, which also affect peatlands in the basin. The main goals of this theses include research literature on the topic of changes in the geochemism of surface waters in spring areas with peat bogs in the basin in response to precipitation-runoff extremes. Furthermore, an analysis of runoff and precipitation conditions in the hydrological years 2018, 2019 and 2020 and an analysis of changes in water quality parameters depending on precipitation-runoff extremes for the period from 2013 to 2020 were performed. The relationship between conductivity and flow was monitored using hysteresis loops. The work used data from the experimental profile of KFGG PŘF UK on the Slatinný potok and data on flows for the profile Chaloupky in the Rolava from ČHMÚ. The results show that the relationship between conductivity and flow can be analyzed using hysteresis loops, especially in the period with a rapid increase in flow and their shape changes depending on the reconditioning of the basin. Flow dependence was also observed for other parameters, such as iron.

Keywords: hydrological drought, flood, surface water quality, peat bog, electrical conductivity, hysteresis loop

Obsah

1 Úvod	9
2 Dosavadní studie	11
2.1 Extrémní hydrologické události a jejich vliv na kvalitu vod	11
2.2. Jednotlivé ukazatele kvality vody a jejich ovlivnění extrémy	12
2.2.1. Teplotní poměry	12
2.2.2. Hodnoty pH	13
2.2.3. Elektrická konduktivita	13
2.2.4. Rozpuštěný organický uhlík.....	14
2.2.5. Další parametry	15
2.3. Rašeliniště v povodí a jejich vliv na kvalitu vody	17
2.4. Použití hysterézních smyček v hydrologii.....	20
3 Data a použité metody	21
3.1. Zdroje dat	21
3.3. Aplikované metody	23
3.3.1. Analýza odtokových poměrů.....	23
3.3.2. Výběr extrémních srážko-odtokových událostí.....	23
3.3.3. Hysterézní smyčky	24
3.3.4. Hodnocení jakosti povrchových vod	26
4 Charakteristika zájmových pramenných oblastí	27
4.1. Základní charakteristika	27
4.2. Přírodní poměry	27
4.3. Antropogenní ovlivnění	32
5 Výsledky.....	33
5.1. Analýza odtokových a srážkových poměrů	33
5.1.1. Hydrologický rok 2018 na profilu SLA2	35
5.1.2. Hydrologický rok 2019 na profilu SLA2	36
5.1.3. Hydrologický rok 2020 na profilu SLA2	37
5.2. Suchá období	38

5.2.1. Období od 2. 8. do 8. 8. 2018	38
5.2.2. Období od 2. 9. do 8. 9. 2019	40
5.2.3. Období od 16. 5. do 22. 5. 2020	41
5.2.4. Období od 18. 9. do 24. 9. 2020	43
5.3. Období s výraznými průtoky	44
5.3.1. Období od 11. do 15. 3. 2018	44
5.3.2. Období od 8. 9. do 11. 9. 2019	46
5.3.3. Období od 10. do 13. 3. 2020	47
5.3.4. Období od 18. do 23. 6. 2020	49
5.4. Vývoj parametrů kvality vody u profilů SLA2 a ROL1	51
5.5. Změny geochemismu v závislosti na ročním období a průtoku	53
5.3. Hodnocení jakosti vody	56
6 Diskuze.....	59
7 Závěr	62
Seznam literatury	63
Internetové zdroje.....	68
Seznam obrázků, grafů a tabulek	71
Přílohy.....	74

Seznam použitých zkratk

BSK5	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ČOV	Čistička odpadních vod
ČSN	Česká technická norma
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	Digitální databáze vodohospodářských dat
DOC	Rozpuštěný organický uhlík
EEA	Evropská agentura pro životní prostředí
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
KFFG	Katedra fyzické geografie a geoekologie
N-NO ₃ ⁻	Dusičnanový dusík
N-NH ₄ ⁺	Amoniakální dusík
NPR	Národní přírodní rezervace
O ₂	Kyslík
P _{celk.}	Celkový fosfor
PřF UK	Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze
Q	Průtok
TOC	Celkový organický uhlík
TK	Těžké kovy

1 Úvod

Složení vody v pramenných oblastech je ovlivněno řadou faktorů. Kvalita vody odtékající z pramenných oblastí byla dlouhou dobu ovlivňována zejména antropogenní činností, v současnosti v České republice došlo ke snížení emisí, ale kvalita vody začíná být ovlivňována také změnou klimatu. Kvůli měnícímu se klimatu dochází k častějšímu výskytu extrémních srážko-odtokových událostí jako jsou povodně nebo delší období sucha. Tyto události mají také silný vliv na jednotlivé parametry udávající kvalitu vody jako je například teplota, pH, konduktivita a mnohé další (Bates et. al 2008). Pokud se navíc v povodí vyskytují rašeliniště, dochází ke změnám geochemismu povrchové vody, který je celkově hodnocen jako negativní (Vlček et. al 2012).

Vliv extrémů v srážko-odtokových událostech je často zkoumaným tématem mezi českými i zahraničními odborníky. Tato bakalářská práce navazuje na předchozí výzkumy a práce, které byly na podobné téma sepsané na Katedře fyzické geografie a geoekologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Jde zejména o práce zabývající se chemismem toků v Krušných horách (Beranová 2011, Kočárková 2016, Špringerová 2019, Navrátilová 2020). Kočárková (2016) se zabývala změnami chemismu vody v závislosti na sezónnosti, zatímco Navrátilová (2020) zkoumala geochemismus a jeho změny způsobené hydrologickým suchem.

Hlavním cílem této práce je analýza změn, ke kterým dochází u parametrů kvality vody, při srážko-odtokových extrémech. Pozornost je věnovaná zejména vývoji srážko-odtokových poměrů a vztahu konduktivity a průtoku na tomto párovém povodí v hydrologických letech 2018, 2019 a 2020. Pro období od roku 2013 do roku 2020 je v práci charakterizován vývoj vybraných ukazatelů kvality vody v čase a jejich reakce na srážko-odtokové extrémy.

Práce se zabývá změnami kvality vody v obdobích delšího sucha a zejména při jednorázových vysokých srážkách na párovém povodí horní Rolavy a Slatinného potoka v Krušných horách. Za tímto účelem bylo vybráno 8 několikadenních období mezi lety 2018 a 2020, kdy došlo k různým srážko-odtokovým extrémům a byla provedena detailní analýza změn v odtoku, srážkových úhrnech, teplotách vzduchu a konduktivitě. K analýze vlivu průtoku na elektrickou vodivost v obdobích, kdy došlo k srážko-odtokovým extrémům, jsou použity hysterézní smyčky. Zkoumán je také vliv rašelinišť na kvalitu vody během extrémních srážko-odtokových událostí.

Podstatnou součástí práce je také rešerše české i zahraniční literatury zabývající se výše uvedenými tématy se zaměřením na dosud provedené výzkumy a studie v pramenných oblastech a povodích s rašeliništi. Budou v ní rozebrány jednotlivé ukazatele kvality vody a dosavadní výzkumy o jejich ovlivnění srážko-odtokovými extrémy v pramenných oblastech.

Rešerše se zabývá také dosavadním využitím hysterézních smyček v hydrologii, jejichž konstrukce je jednou z hlavních aplikovaných metod v této práci.

2 Dosavadní studie

Tato kapitola bakalářské práce představuje dosavadní poznatky ohledně tématu vlivu extrémních hydrologických událostí na ukazatele kvality povrchové vody, vliv rašelinišť v povodí a použití hysterézních smyček v hydrologii.

První část této kapitoly se zabývá obecně extrémními hydrologickými událostmi a jejich vlivem na kvalitu vody. Následuje kapitola věnovaná jednotlivým ukazatelům kvality vody a jejich ovlivnění srážko-odtokovými extrémy. Další část této kapitoly se věnuje rašeliništím a jejich vlivu na kvalitu vody. Poslední část se zabývá konstrukcí hysterézních smyček a jejich dosavadním využitím v hydrologických výzkumech.

2.1 Extrémní hydrologické události a jejich vliv na kvalitu vod

Kvůli změnám klimatu dochází k celé řadě dalších proměn. Kromě zvyšování teplot, jde i o zvýšení extrémů v chodu srážek a odtoku. To způsobuje extremizaci hydrologického cyklu, tedy delší suchá období bez srážek, která se střídají s rychlými a vydatnými srážkami. Tyto extrémy vyskytující se v chodu srážek způsobují častější výskyt povodní a také častější období s velmi nízkým průtokem v tocích (Houghton et. al 1995). Podle výzkumů Lupikaszy (2006) v Německu docházelo od 50. let do začátku 21. století k častějšímu výskytu extrémních srážkových událostí, hlavně v letním období. Podle jiných výzkumů se ale v jiných regionech trend zvyšuje zejména v zimě. To bylo pozorováno zejména v západní části České republiky (Kyselý 2009).

Změny v chodu srážek, častější výskyt nižších průtoků, stejně jako jejich nenadálé zvýšení mohou mít vliv i na kvalitu vody (Macura et. al 2016). Vliv změny klimatu na kvalitu vody je ale komplikovaný a každý parametr udávající kvalitu vody má vlastní vztah se změnami v chodu srážek (Senhorst et. al 2005). Obecně ale platí, že vliv extrému na kvalitu vody je nejvyšší zejména při rozsáhlých srážkách, které následují po delším období sucha (Rostami et. al 2018).

Čím dál častěji se mluví také o hydrologickém suchu, které je definováno jako stav, kdy dojde k výraznému snížení hladin povrchových a podzemních vod ve srovnání s obvyklým stavem. Obvykle se vyskytuje na konci delšího období bez srážek (meteorologické sucho) a může pokračovat i po opětovných srážkových úhrnech (ČMeS 2017). V ČR je za hydrologické sucho považován stav, kdy průtok poklesne pod hodnotu Q_{355} , což je průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen během 355 dnů v roce (ČHMÚ 2021).

Při měřeních na povodích v kanadské Albertě bylo zjištěno, že koncentrace většiny ukazatelů kvality vody je silně závislá na průtoku a množství srážek (Rostami et. al 2018). Podle měření na polských řekách se zdá, že k nejvyšším změnám kvality vody dochází jeden den po výskytu výraznějších srážek (Puczko et. al 2020).

Ovlivnění kvality vody v řekách antropogenními zdroji je také výrazně závislé na průtoku. Během výzkumů na povodí řeky Jang -c-ťiang bylo zjištěno, že zemědělská činnost ovlivňuje kvalitu povrchové vody výrazně více v obdobích, kdy jsou nižší průtoky (Xu et. al 2021). Přestože se může zdát, že kvalita vody v tocích je ovlivňována zejména lidskou činností, četné výzkumy prokázaly, že na kvalitu vody mají významný vliv také charakteristiky povodí jako je jeho morfologie, klima nebo geologie. Kromě změn v srážkovém a teplotním chodu je významný například druh půd, nebo zastoupení rašelinišť v povodí (Lintern et. al 2018). I proto je v povodí, které je málo antropogenně ovlivněné, jako například povodí Rolavy, potřeba zabývat se vlivem přírodních změn (například srážko-odtokových extrémů) na kvalitu povrchové vody. Srážko-odtokové extrémy mají ale v antropogenně ovlivněných oblastech dokonce ještě větší vliv na změny v kvalitě vody než v relativně přírodních povodích (Puczek et. al 2020).

2. 2. Jednotlivé ukazatele kvality vody a jejich ovlivnění extrémy

Tato část práce se zabývá ukazateli kvality vody a hodnocením vlivu hydrologických extrémů na ně. K hodnocení kvality vody je využit analytický přístup, který využívá fyzikálně-chemické ukazatele (Langhammer 2002). Pro posouzení změn kvality vody v závislosti na změnách v chodu srážek byly využity následující ukazatele kvality vody: teplota vody, konduktivita, pH, TOC/DOC, koncentrace dusičnanového dusíku, celkového fosforu, fosforečnanů, sodíku, draslíku, vápníku a železa, které jsou blíže popsány níže.

2. 2. 1. Teplotní poměry

Spolu se zvyšující se teplotou vzduchu roste i teplota povrchových vod, která poté ovlivňuje rychlost a dynamiku dalších fyzikálních a chemických procesů (Bates et. al 2008). Teplota vody může být ovlivněna průtokem, okolní teplotou vzduchu a rychlostí proudění (Mánek 1998). Chod teploty vody je ovlivňován příjmem slunečního záření z atmosféry a následným ohřevem vody, břehů a dna. Rozpětí hodnot teplot vody mezi ročními obdobími může být značné. Denní amplituda teploty v toku je výrazně vyšší u malých toků, kde se pohybuje mezi 3 – 6° C, zatímco u větších toků okolo 1° C. Právě na malých tocích tak může být prudké zvýšení teploty vody (například u výpustě z čističky odpadních vod) nejvíce problematické. Změny teploty vody se zpožďují za změnami teploty okolního vzduchu. Maximální denní teplota vody nastává v zimě dříve než v létě, nejbližší bývá teplota průměrné denní teplotě před polednem (Langhammer 2002).

Teplota vody je významná i z hlediska kvality vody. Nepřímo úměrný teplotě vody je obsah rozpuštěného kyslíku. V případě, že tedy dojde k ohřátí vody v toku, může nastat kyslíkový deficit, a tím pádem nevhodné podmínky pro život většiny organismů (Pitter 2015). Vysoká

míra tepelného znečištění může způsobit výrazný kyslíkový deficit, přestože v toku nejsou přítomny jiné znečišťující látky (Langhammer 2002).

Teplota vody má také vliv na intenzitu samočisticích procesů v toku. Ovlivňuje také organismy, které mají různou teplotní toleranci a mohou se tak vyskytovat jen v některých tocích. Jako imisní limit pro teplotu vody byla stanovena maximální teplota vody vypouštěné do toku 20° C u vodárenských toků, u jiných toků 26° C. Teplota má vliv i na úpravu vody, kdy jsou při některých teplotách některé metody v podstatě neúčinné (Langhammer 2002).

Teplota vody je každopádně ukazatelem kvality vody, který nejrychleji a nejprůměrněji reaguje na působení klimatu. V Evropě dochází k jejímu postupnému zvyšování. Během měření na sedmi profilech na švýcarských řekách bylo zjištěno, že teplota vody každý rok stoupá průměrně o 0,02 – 0,05 °C za rok (Rodriguez-Murillo et. al 2014). Ke kolísání teploty vody dochází i v rašeliništích, které následně ovlivňují teplotu vody v tocích, které z nich vytékají. Kolísání teploty je nižší v oblastech, kde je v rašeliništích zadržováno větší množství vody (Gupta et. al 2021).

2. 2. 2. Hodnoty pH

Dalším ukazatelem kvality vody, který mohou ovlivňovat hydrologické extrémy, je pH vody. Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů, tedy odráží kyselost, respektive zásaditost vody (Langhammer 2002).

Hodnoty pH ovlivňuje průtok vody. Po intenzivnějších srážkách, a tedy při větším průtoku vody bylo na experimentálních povodích naměřeno nižší pH než za normálních okolností (Noskovič 2013, Kulasová 2008), v sušších obdobích, kdy byl průtok menší, naopak pH stoupalo (Kulasová 2008). Tento vztah množství vody a pH byl zjištěn například i při výzkumech na šumavských povodích Prokšem (2010). V rašelinných oblastech bývá pH povrchových toků nižší, jelikož je zde ve vodě větší koncentrace volných kyselin (Pitter 2015). Například při měření na tocích na Šumavě bylo naměřeno vyšší pH v oblastech bez rašelinišť, což je Mánkem (1998) vysvětlováno menším množstvím huminových látek, které způsobují acidifikaci vody.

Vliv na pH může mít i morfologie povodí. Podle výzkumů Alnahita et. al (2020) bývají hodnoty pH vyšší v povodích se strmými svahy a ve vyšších nadmořských výškách. Vyšší hodnota pH se objevila také v povodích s půdami, které měly vyšší objemovou hmotnost. Negativně pH také koreluje s teplotou vody (Alnahit et. al 2020).

2. 2. 3. Elektrická vodivost

Konduktivita je ukazatelem kvality vody, který je charakterizován jako převrácená hodnota elektrického odporu vody. Udává schopnost vody vést elektrický proud. Je také výrazně závislá na teplotě vody, obvykle bývá vztahována k vodě o teplotě 20 ° C (Langhammer 2002).

Konduktivita je výrazně závislá na teplotě, kdy změna teploty o 1° C způsobuje změnu konduktivity přibližně o 2%. Obvykle je tedy konduktivita přepočítávána k teplotě 25° C (Pitter 2015). Vyšší hodnoty konduktivity obvykle bývají příznakem antropogenní zátěže, nejnižší hodnoty byly při měření na Šumavě naměřeny v pramenných oblastech, kde je antropogenní zátěž toku nejnižší (Mánek 1998).

Konduktivita je jedním ze základních způsobů určení koncentrace iontově rozpuštěných látek v toku a celkové mineralizace vody. Umožňuje rychle zjistit informace o časových změnách koncentrací anorganických rozpuštěných látek v toku. Na druhou stranu je ale ovlivňována velkým množstvím faktorů, takže určení konkrétního znečištění z jejích hodnot může být někdy poměrně obtížné (Pitter 2015).

Na konduktivitu mají hydrologické extrémy přímý vliv, při vyšších, nenadálých průtocích konduktivita prudce klesá a následně se vrací na svou původní úroveň (Langhammer 2002). Na povodí Svratky bylo při měření zjištěno, že v období sucha a menších průtoků dosahovala konduktivita extrémních hodnot. Míra konduktivity byla provázána také s lidskou činností v okolí jako jsou například stavební práce nebo zemědělské plochy (Grmela et. al 2011).

Během nedávného měření na několika tyrolských řekách bylo potvrzeno, že po nenadálém nárůstu srážek dochází, se zpožděním několika hodin, k prudkému poklesu konduktivity. Naopak během suchých období s nižšími průtoky docházelo k postupnému nárůstu konduktivity, a to přibližně o 45 až 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Shaffer et. al 2020). Toto potvrdili i Zuecco et. al (2018) během výzkumu na povodí řeky Vauz v Dolomitech, kde navíc byl pozorován nárůst elektrické konduktivity v obdobích, kdy došlo k aktivaci podpovrchového odtoku. Data naznačují, že minima elektrické konduktivity jsou obvykle dosaženy ještě před maximem průtoků. Následně konduktivita stoupá a maxima dosahuje v období, kdy se postupně snižuje průtok. K největšímu poklesu dochází ihned po nástupu srážkových událostí, poté již hodnoty konduktivity klesají pozvolněji (Zuecco et. al 2018).

Cano-Paoli a kolektiv (2019) zase během výzkumů na jiném alpském povodí použili korelaci průtoků a konduktivity pro vytvoření několika hydrologických modelů, které předpovídají na základě hodnot konduktivity změny v průtocích. Tento druh modelů je čím dál častější a začíná se využívat i na našem území. Pomocí hysterézních smyček a prekondice povodí je odvozeno několik typů chování konduktivity před různě výraznými průtokovými událostmi. Díky tomu je možné při měření konduktivity automatickým měřákem předpovídat průtokové události.

2. 2. 4. Rozpuštěný organický uhlík

Pro určení celkové koncentrace organických látek ve vodě je používán také sumární parametr celkový organický uhlík (TOC), případně rozpuštěný organický uhlík (DOC). TOC stanovuje, jak

velké množství oxidu uhličitého vzniklo při oxidaci organických látek. Vysoké hodnoty parametru TOC udávají silné znečištění organickými látkami, které obvykle vede k poklesu obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě (Langhammer 2002). DOC tvoří proměnlivou součást TOC, obvykle se pohybuje okolo 90 % TOC. Závislost DOC na průtoku je obvykle méně výrazná než závislost TOC na průtoku. Hledání závislosti mezi průtokem a DOC je ale komplikované a závislost ovlivňuje mnoho faktorů. Během výzkumu na švýcarských řekách bylo dokonce popsáno, že pouze 2,5 % variability DOC je způsobeno změnami v průtoku (Rodriguez-Murillo 2014).

Ve své diplomové práci zkoumala Špringerová vliv srážko-odtokového režimu a ročního období na DOC a řešila i ovlivnění množství DOC mírou výskytu rašelinišť v povodí. Nejvyšší koncentrace DOC byly naměřeny na povodí s nejvyšším zastoupením rašelinišť (Špringerová 2019). Čím větší plocha s rašeliništi se v zkoumaném povodí nachází, tím větší jsou koncentrace organického uhlíku (Jutras et. al 2011). Podle Špringerové je nejsilnější vztah koncentrací DOC a průtoku u profilů s menším množstvím rašelinišť v povodí. Nejmenší koncentrace DOC se objevuje u většiny toků v zimě, zatímco nejvyšší koncentrace záleží na množství rašelinišť v povodí. Povodí s nižším výskytem mají maximum DOC v létě, zatímco ty se silným zastoupením rašelinišť až na podzim (Špringerová 2019). Koncentrace DOC jsou také závislé na teplotě, jejíž variabilita ale ovlivňuje variabilitu DOC jen z necelých 5 %.

Na mnoha povodích USA zkoumali vliv průtoků na DOC a bylo zjištěno, že k nejvýznamnější korelaci průtoku a DOC dochází u toků 1. až 3. řádu (podle Strahlerovy klasifikace). Bylo také prokázáno, že prostorovou variabilitu DOC ovlivňuje výrazněji teplota než srážky. Změny teplot totiž výrazně ovlivňovaly mikrobiální aktivitu v půdě, která určuje rychlost ztráty organické hmoty (Yang et. al 2017).

2. 2. 5. Další parametry

Tato podkapitola se zabývá dalšími látkami, pomocí jejichž koncentrace se měří kvalita vody, které byly pro účely této práce použity. Jde zejména o dusičnanový dusík (N-NO_3^-), celkový fosfor ($\text{P}_{\text{celk.}}$), koncentrace bazických iontů (Na, K, Ca) a koncentrace železa (Fe).

Dalším využívaným parametrem je koncentrace dusičnanového dusíku, jehož přítomnost je ve většině povrchových vod běžná, ale vyšší koncentrace ukazují na antropogenní znečištění. Obsah dusičnanů ve vodě je silně vázán na vegetační cyklus rostlin, tedy na jaře a v létě, kdy probíhá vegetační období, je koncentrace dusičnanů ve vodě nejnižší. Koncentrace dusičnanů odráží plošné znečištění okolí toku, při vyšším množství srážek a vyšším průtoku, dochází i k větší splachu a tím pádem nárůstu koncentrace dusičnanů v toku (Langhammer 2002). Tomuto předpokladu odpovídají například výzkumy v rámci bakalářské práce Kočárkové (2016), kdy průměrné nejvyšší koncentrace dusičnanů byly zaznamenány na experimentálním

povodí Rolavy v zimních měsících, zatímco nejnižší v létě, což odpovídá vegetační sezóně (Kočárková 2016). I v případě výzkumů na čtyřech povodích ve skotském pohoří Cairngorms byla prokázána vyšší koncentrace dusičnanů při jarním tání sněhu (Soulsby et. al 2001). Nárůst koncentrací dusíku v říčních systémech byl potvrzen také při studii na norských řekách (Deininger et. al 2020). Podle výzkumů na čínských povodích to vypadá, že dusičnanový dusík tvoří největší část celkového dusíku v toku zejména v obdobích s nízkým průtokem, zatímco v obdobích s vyššími průtoky převažují spíše jiné formy dusíku (Pan et. al 2020).

Zajímavý je také předpoklad, že v tocích, které jsou málo ovlivněné lidskou aktivitou, dochází k poměrně výraznému ovlivnění koncentrace dusičnanového dusíku povětrnostními podmínkami (Vassiljev et. al 2020).

Dále bude sledována koncentrace organického fosforu a fosforečnanů v pramenných oblastech. Zatímco organický fosfor se do toků dostává v podobě fekálního znečištění, rozpustné fosforečnany se většinou uvolňují splachem z ploch, kde byly využity ve formě hnojiv. U profilů, jejichž zatížení fosforem a fosforečnany pochází z bodových zdrojů je koncentrace fosforu nepřímo úměrná průtoku, zatímco v případě plošných zdrojů nebyla výraznější závislost nalezena. Obecně ale platí, že koncentrace organického fosforu a fosforečnanů je významně vázána zejména na momentální znečištění (Langhammer 2002). Zároveň je ale fosfor nezbytnou živinou pro růst vodních rostlin a také pomáhá regulovat eutrofizaci (Gupta et. al 2021). Podle výzkumů Ruppá (2014) dochází u toků s vyšším zastoupením rašelinišť v povodí k nálezům větších koncentrací celkového fosforu.

Vliv hydrologických extrémů na koncentraci fosforu je komplikovanější a na toto téma existuje méně výzkumů. Při vyšších teplotách je fosfor mineralizován a dochází k jeho snadnějšímu splachu do toku při vyšších srážkách, vyšší uvolňování fosforu ale způsobuje také tání sněhu (Bol et. al 2018). Během výzkumů Navrátilové (2020) byla prokázána nižší koncentrace fosforu během období sucha zejména na povodí Rolavy, ale u dalších zkoumaných toků se tento trend neprokázal (Navrátilová 2020). Podle Kočárkové (2016) odpovídaly vyšší koncentrace fosforu obdobím s nižším průtokem. Podle výzkumů Puczek et. al (2020) na polských řekách došlo po extrémních srážkách a v období s výrazně vyšším průtokem v některých profilech až dvojnásobnému snížení koncentrace celkového fosforu, zatímco v jiných k prudkému nárůstu. Je tedy vidět, že korelace fosforu a průtoku není zcela jasná a koncentrace fosforu budou pravděpodobně ovlivněny zejména dalšími vnějšími faktory.

Důležitým ukazatelem je také koncentrace bazických iontů, pro účely této práce je níže popsáno chování iontů sodíku, draslíku a vápníku. Jejich výskyt v povodí je ovlivněn mnoha faktory, zejména horninovým podložím a pH vody. Koncentrace bazických iontů klesá s nadmořskou výškou, bazické ionty mají schopnost výrazně neutralizovat vodu v povodí a

snižovat tak její acidifikaci. Koncentrace vápníku nemusí být ovlivněna jen pH vody, ale také stavem okolního lesa, který pokud je zdravý spotřebovává velké množství vápníku, který se tím pádem nemůže uvolnit do vodního toku. Zejména v pohraničních oblastech se často objevovala velká koncentrace bazických iontů v tocích, zejména po výraznějších srážkách, což bylo způsobeno kyselými dešti. Od té doby, co byly omezeny emise, na našem území ve většině toků množství bazických iontů výrazně pokleslo (Hruška et. al 2006).

V případě měření na povodích ve skotském pohoří Cairngorms bylo zjištěno, že koncentrace sodíku a hořčíku se v průběhu roku téměř nemění, zatímco u koncentrace vápníku nastal pokles během jarního tání (Soulsby et al. 2001). Měřením množství bazických iontů v toku se zabýval také Cresser (1997), také na skotských povodích, která odtékala z rašelinišť. Při výzkumech na polských řekách byl pozorován čtyřnásobný nárůst koncentrace hořčíku během období s nízkým průtokem (Puczek et. al 2020).

Vysoké koncentrace železa bývají typické pro toky s větším množstvím rašelinišť na území povodí. To bylo ověřeno například Beranovou (2011) na povodí Rolavy. I u železa se objevuje trend vlivu extrémních událostí na koncentraci. U výzkumu na sibiřských řekách byla například prokázána nejvyšší koncentrace železa během jarních povodní a obecně při vyšších průtocích, tedy i po nenadálých srážkách. Nízká koncentrace byla zejména během nízkých průtoků, obvykle v zimním období. Koncentrace železa ale může být výrazně ovlivněna i horninovým podložím, ne vždy tedy musí koncentrace tomuto trendu odpovídat (Fashchevskaya 2017).

Pro určování kvality vody se používá celá řada dalších parametrů jako například amoniakální dusík (N-NH_4^+), který udává fekální znečištění, biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK5), koncentrace těžkých kovů (TK) nebo chemická spotřeba kyslíku (Pitter 2015). Tyto parametry ale nebyly využity ve výzkumu pro účely této práce, takže zde nejsou popsány.

2. 3. Rašeliniště v povodí a jejich vliv na kvalitu vody

Podle Dohnala (1965) jsou rašeliniště ekosystémy, kde dochází k trvalému zamokření a je zde produkováno velké množství rostlinné biomasy, která není kvůli vlhku dostatečně rozkládána. V rašeliništi tedy dochází k hromadění zbytků rostlin, které se v nižších vrstvách, kde je nedostatek vzduchu, přetvářejí na rašelinu. Oblast Krušných hor je v ČR druhou nejbohatší na rašeliniště, hned po Šumavě. V povodí Rolavy se rašeliniště vytvořila na zvětralinovém plášti, kde vyvěrá podzemní voda s mělkým režimem. Rašeliniště zde tak vznikla kombinací zavodnění podzemní vodou a zároveň srážkami. (Dohnal 1965).

Procesy v rašeliništích jsou ovlivněny hydrologickými poměry. Změny v klimatu, stejně jako změny v množství vody, která se do rašelinišť dostává, mohou vést ke změnám v celém ekosystému rašeliniště. Pokud ubývá dostupné vody, dochází ke snížení množství kyslíku

v horní vrstvě rašeliniště a tím pádem je omezena respirace (Novák 2012). Proto, aby mohla rašeliniště dlouhodobě existovat, je nutné, aby byl přísun vody ze srážek vyšší než odtok a evapotranspirace (Chytrý et. al 2010). Rašeliniště mají také význam z hlediska prevence proti povodním, srážkovou vodu nasávají, ale téměř z nich neodtéká. Další funkcí rašeliniště je také dlouhodobá fixace velkého množství uhlíku (Matějů 2012).

Toky odvodňující rašeliniště mají obvykle vysokou rozkolísanost průtoků, při prudších srážkách dochází ke zvýšení odtoku z rašelinišť, zatímco při období sucha rašeliniště nenapájejí výrazně vodní toky, což se projevuje zlepšením kvality vody v tocích. V horských oblastech jsou odtokové poměry ještě komplikovány setrváváním a táním sněhové pokrývky, která se zde drží i několik měsíců v roce. Vliv rašelinišť na kvalitu vody je v pramenných oblastech obvykle hodnocen jako negativní (Vlček et. al 2012). Na druhou stranu rašeliniště v povodí mohou výrazně snižovat zatížení vody živinami a předcházet tak eutrofizaci vodních toků a jezer v nižších polohách (Dorge 1994). Kocum (2016) uvádí, že vliv rašelinišť se při srážko-odtokových událostech začíná objevovat od 15 milimetrů srážek v suchých obdobích a 20 milimetrů srážek při maximálním nasycení.

Vliv rašelinišť na jednotlivé ukazatele kvality vody byl již částečně popsán v kapitole 2. 2. Voda odtékající z rašelinišť je obvykle kyselá, s pH pohybujícím se mezi 3,3 – 5,5 (Doležal et. al 2020). Rašeliniště v povodí ovlivňují také konduktivitu vody, záleží hlavně na vlastnostech rašeliny jako například na pH, její pórovitosti a vlhkosti okolní půdy (Ponziani 2011). V minulosti vliv rašelinišť v povodí horských toků zkoumal například Doležal (2020) u šumavských povodí, který potvrdil, že v suchých obdobích dochází ke zvýšení pH, jelikož se do toků dostává menší množství vody z rašelinišť.

Zajímavý je také vliv přítomnosti rašelinišť v povodí na koncentrace DOC v pramenných oblastech. Rašeliniště jsou na celém světě jednou z nejvýznamnějších zásobáren uhlíku, obsahují přibližně 30 % světového půdního uhlíku (Gorham 1991). Obecně platí, že čím větší plocha rašelinišť se v povodí nachází, tím větší je množství rozpuštěného uhlíku v tocích, které z rašeliniště vytékají (Jutras et. al 2011).

Rašeliniště ale mají odlišný vliv na koncentraci DOC během vysokých srážek a průtoků než jiné zdrojové oblasti. Dochází k tomu, jelikož povodňová voda se v rašeliništi pohybuje po preferenčních cestách a obchází tak rašelinné vrstvy, které jsou bohaté na organické látky. Podle výzkumů ve Švédsku je očividné, že změny v koncentracích DOC se výrazně liší v závislosti na tom, jestli povodí obsahuje rašeliniště, či nikoliv. Popsání těchto procesů je ale velmi složité a je potřeba zkoumat reakci koncentrace DOC pro jednotlivé typy extrémů zvlášť. (Tiwari et. al 2019).

Dalším procesem, který přispívá k ovlivnění koncentrací DOC, které se uvolňují z rašeliniště, je redukce železa. Podle Knorra (2013) lze tento vliv vysvětlit tak, že organický uhlík byl dříve v rašeliništi adsorbovaný na sloučeniny železa a během redukce železa mikrobiální aktivitou byl tento uhlík rozpuštěn v toku. Tuto teorii podpořily i výsledky Selle et. al (2019), která navíc dodávají, že k tomuto procesu dochází ve vyšší míře zejména v dobách, kdy je sušší období následováno srážkami.

Podle Ritsona (2014) je množství produkce DOC rašeliništi ovlivněno také výskytem typických druhů v rašeliništích. Zvýšená produkce DOC, a tím pádem i jeho vyšší uvolňování do toku, je typické pro oblasti, kde roste velké množství vřesu. Naopak tam, kde se vyskytuje zejména rašelinič je uvolňování menší. Vlivem rašelinišť na DOC se zabývala ve své práci i Špringerová (2019).

Rašeliniště mají také vliv na snižování koncentrací dusíkatých sloučenin v tocích. Dochází zde totiž k denitrifikaci, kdy se nebezpečné dusičnany a dusitany mění za pomoci mikrobiální aktivity na oxid dusný, případně plynný dusík, které již nejsou tak nebezpečné (Pitter 2015). Účinnost mokřadů pro snižování koncentrací sloučenin dusíku byla potvrzena například v studii Audeta et. al (2020) v dánských povodích.

Pro toky s rašeliništi v povodí bývají typické také vyšší koncentrace železa a celkového fosforu (Beranová 2011, Rupp 2014). Železo a sloučeniny fosforu se totiž hromadí v hlubších vrstvách rašelinišť a k nárůstu jejich koncentrací v toku dochází zejména v suchých obdobích, kdy do povodí odtéká voda z hlubších vrstev rašeliniště (Karjalainen et. al 2016).

Problémové pro kvalitu vody v povodí, kde se nacházejí rašeliniště, může být také, pokud dojde k vysušení rašeliniště, ať už přirozeně, nebo antropogenním způsobem. V tocích se poté objevují zejména vysoké koncentrace dusičnanového dusíku, které jsou zapříčiněny provzdušňováním rašeliniště, ve kterém následně dochází k nitrifikaci (Tiemeyer et. al 2007). Tímto problémem u estonských řek, které leží v povodí s celou řadou vysušených rašelinišť, se zabýval například Vassiljev et. al (2020). Během jejich výzkumu bylo prokázáno, že v Estonsku zatížení dusíkem z vysušených rašelinišť v povodí může být výraznější než zatížení způsobené zemědělstvím. Dlouhodobé sucho tak může způsobovat výrazné zvýšení koncentrací dusičnanového dusíku v těch tocích, kde budou rašeliniště v důsledku nedostatku srážek postupně vysušována (Vassiljev et. al 2020). Podle výzkumu Bjarnadottira et. al (2021) jsou vysušená rašeliniště také větším zdrojem organického uhlíku, který se z nich uvolňuje jak do vodních toků, tak přímo do atmosféry (Bjarnadottir et. al 2021).

2.4. Použití hysterézních smyček v hydrologii

V praktické části této práce jsou hojně využity hysterézní smyčky pro analýzu závislosti elektrické konduktivity na průtoku v jednotlivých obdobích, kdy došlo k srážko-odtokovým extrémům. Tato kapitola se věnuje použití hysterézních smyček v dosavadních výzkumech v hydrologii.

Hysterézní smyčky v hydrologii se využívají pro analýzu závislosti mnoha různých proměnných. Většinou se používají zejména takzvané C-Q hysterézní smyčky, které znázorňují závislost koncentrace nějakého parametru na průtoku. Tyto smyčky se poté používají pro modelování a odvození chování povodí. Často jsou také používány pro analýzu časového zpoždění změny dvou proměnných. Takto byly hysterézní smyčky využity například v práci Zuecca et. al (2018) nebo Cano-Paoliho et. al (2018).

Tato práce se zaměřuje zejména na výzkumy, které tyto smyčky používají pro analýzu závislosti elektrické konduktivity a průtoku. Typicky se tato analýza provádí pomocí dvojrozměrného grafu, který zobrazuje reakci jednoho parametru na změnu jiného. Na základě toho většinou bývají vytvořeny některé základní tvary hysterézních smyček, podle kterých jsou následně kategorizovány závislosti v jednotlivých obdobích (Zuecco et. al 2016). Hysterézní smyčky se tak výborně hodí pro analýzu chování jednotlivých ukazatelů kvality vody v reakci na sucho, nebo nečekané srážky.

Princip konstrukce hysterézních smyček spočívá v normalizování minimálních a maximálních hodnot proměnných za pomoci stanoveného vzorce a poté rozdělení smyček do konkrétních kategorií na základě tvaru (Zuecco et. al 2016).

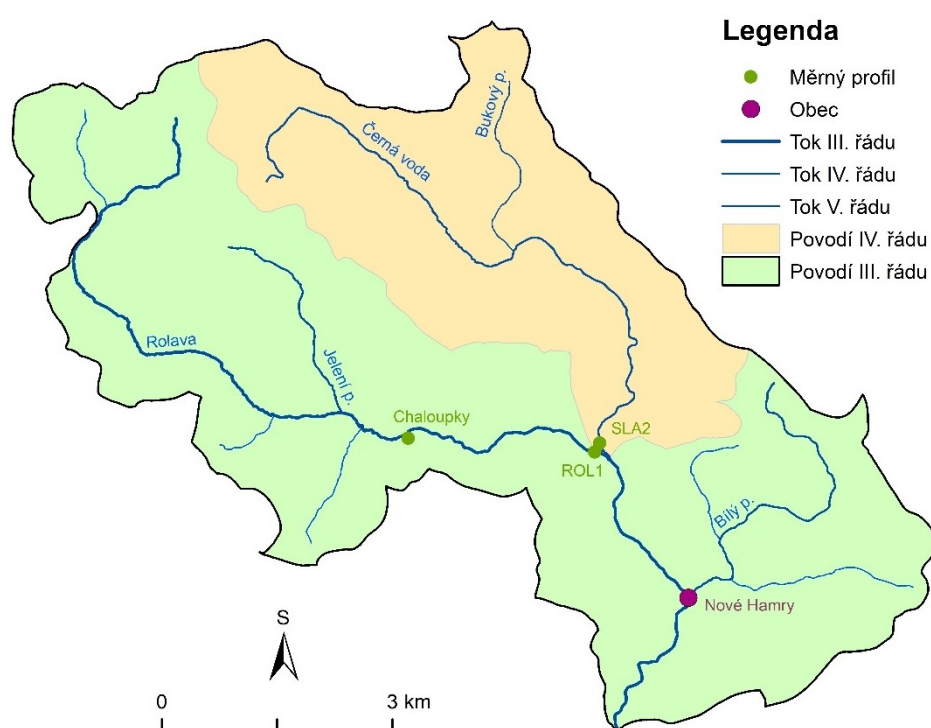
Využitím hysterézních smyček pro toky na českém území se v minulosti zabývala například Su et. al (2017), která je využívala pro zjištění vlivu napadení kůrovcem lesů v povodí na změny v elektrické konduktivitě v tocích v příslušném povodí. Vliv průtoku na konduktivitu byl pomocí hysterézních smyček zkoumán i na tyrolských povodích, kde navíc přišli se započítáním zpoždění změn elektrické konduktivity oproti změnám průtoku. Během těchto výzkumů bylo pozorováno rozšíření smyčky při větších srážkách (Cano-Paoli et. al 2019).

Singley et. al (2017) ve svém výzkumu zase používají hysterézní smyčky EK – Q k posouzení trendů závislosti konduktivity na průtoku v široké škále časových období, ne jen u určitých vybraných extrémních událostí. Podle Zuecca et. al (2018) je obtížné využití hysterézních smyček EK – Q zejména v obdobích, kdy dochází k tání sněhu, který významně přispívá k zvýšení průtoku. Naopak dobře hysterézní smyčky fungují pro srážkové extrémy. (Zuecco et. al 2018).

3 Data a použité metody

3.1. Zdroje dat

Tato bakalářská práce vznikla na základě dat poskytnutých KFGG PŘF UK pro profily, jejichž zkratky a přesná poloha jsou popsány v Tabulce 1. Poloha profilů je zobrazena také v Obrázku 1. Pro profily ROL1, ROL3 a SLA2 byla získána data geochemismu měřená KFGG PŘF UK v období od roku 2013 do roku 2020. Data byla doplněna o průtoky ze stanice ČHMÚ – Chaloupky na Rolavě (kód 2091). Pro denní úhrny srážek byla použita data ze meteorologické stanice Přebuz (kód L3PREB01). Pro teploty vzduchu byla jediná dostupná data za stanice ČHMÚ Šindelová (kód KSIN), která je ale v nižší nadmořské výšce, což bylo potřeba vzít při analýzách v potaz.



Obrázek 1 – Umístění měrných profilů v povodí horní Rolavy, Zdroj dat: KFGG PŘF UK, DIBAVOD, ArcData Praha a ČHMÚ

Dále byla dostupná data z automatické měrné stanice KFGG PŘF UK u ústí Slatinného potoka (profil SLA2), kde byl v 10-minutových intervalech zaznamenáván průtok, konduktivita a teplota. Tato data byla poté použita zejména při detailní analýze období při extrémních srážko-odtokových událostech a ke konstrukci hysterézních smyček. Tato data byla dostupná pouze pro hydrologické roky 2018, 2019 a 2020, proto jsou veškeré analýzy odtokových poměrů prováděny právě pro toto období.

Kód	Profil	Vodní tok	Souřadnice	Nadmořská výška	Data
ROL1	Rolava nad soutokem se Slatinným potokem	Rolava	12,07°v.d., 50,36°s.š.	771 m n.m.	Geochemismus od KFGG PŘF UK (2013 – 2020)
SLA2	Slatinný potok nad soutokem s Rolavou	Slatinný potok	12,07°v.d., 50,36°s.š.	768 m n.m.	Geochemismus (2013 – 2020), průtoky a teploty z automatického měřáku KFGG PŘF UK (2018 – 2020)
2091	Chaloupky	Rolava	12,66°v.d., 50,37°s.š.	805 m n.m.	Průtoky ČHMÚ
L3PREB01	Přebuz	-	12,06°v.d., 50,36°s.š.	904 m n.m.	Úhrny srážek ČHMÚ
KSIN	Šindelová	-	12,59°v.d., 50,32°s.š.	586 m n. m.	Teploty vzduchu ČHMÚ

Tabulka 1 – Měrné profily, z nichž byla využita data pro zpracování bakalářské práce, Zdroj dat: KFGG PŘF UK, ČHMÚ

Dále byla použita data týkající se geochemismu z profilů ROL1 a SLA2. Tato data byla poskytnuta ekohydrologickým týmem KFGG PŘF UK, která provedla nabrání vzorků a následně byly tyto vzorky analyzovány v laboratoři geologických ústavů. Do roku 2018 byly použity následující metody. Koncentrace celkového fosforu byla určena pomocí ultrafialového spektrofotometru UNICAM SP 1800, dusičnany byly analyzovány pomocí metody Bendschneidera a Robinsona měřením absorpance vzniklého azobarviva, koncentrace amonných iontů byla určena pomocí reakce s dichlorisokyanuratanem sodným a vybarvovacím činidlem.

Po roce 2018 se změnil druh analýzy a kationty byly měřeny pomocí přístroje ICP-OES s Agilent 5110, zatímco anionty byly analyzovány za pomoci Dionex ICS-2000 HPLC ion chromatography system. I proto se výrazně liší některé naměřené hodnoty pro jednotlivé roky, zejména u N-NO_3^- a mohou tak v datech vznikat jiné výsledky z důvodu použití různých druhů analytických metod (Fraindová 2021).

Veškeré mapové podklady, které jsou využity v bakalářské práci, byly vytvořeny za pomoci softwaru ArcMap 10. 6. 1. Pro základní zobrazení toků a vrstevnic byla použita data DIBAVOD,

zatímco pro topografická data byla využita databáze Arc ČR 500. Pro konstrukci mapy krajinného pokryvu v povodí Rolavy byla použita data CORINE Land Cover od EEA. Geologická mapa byla vytvořena pomocí dat poskytnutých Českou geologickou službou.

Data byla zpracována za pomoci softwaru MS – Excel a také IHA7.

3.3. Aplikované metody

Tato kapitola popisuje použité aplikované metody, které sloužily ke zpracování praktické části bakalářské práce. Níže je popsána analýza odtokových poměrů, klíč pro výběr extrémních srážko-odtokových událostí, konstrukce hysterézních smyček a následné hodnocení jakosti povrchových vod.

3.3.1. Analýza odtokových poměrů

Pro další výzkum (hysterézní smyčky, analýza geochemismu) byla provedena analýza odtokových poměrů pro hydrologické roky 2018, 2019 a 2020 pro profily SLA2 a ROL1. Tato analýza byla primárně provedena za použití MS – Excel a IHA7.

Pro profil SLA2 byla použita 10-minutová data vodních stavů a teplot z automatického měřáku KFGG PŘF UK. Data z profilu SLA2 a byla manuálně zkontrolována a chybějící nebo nepravděpodobná data byla doplněna pomocí interpolace z okolních hodnot. Vodní stavy byly přepočítány na průtoky za pomoci konsumpční křivky podle ekohydrologického týmu KFGG PŘF UK podle následujícího vzorce:

$$y = 12,977 \times x^{3,7833}$$

kde y je průtok a x vodní stav. Tato konsumpční křivka byla vytvořena pro běžné průtoky na Slatinném potoce a nebyla příležitost ji ověřit při vyšších a extrémních průtocích, proto je možné, že spočítané průtoky by neodpovídaly přesně těm naměřeným při vyšších průtocích. Takto byla získána 10-minutová data pro profil SLA2 pro celé období. Data poté byla přepočítána na průměrné hodinové a denní průtoky, které byly použity v jednotlivých analýzách. Pro profil ROL1 byly použity průtoky získané z otevřené databáze ČHMÚ.

3.3.2. Výběr extrémních srážko-odtokových událostí

V rámci bakalářské práce jsou zpracovávány konkrétní extrémní srážko-odtokové události. Tyto události byly vybrány na základě analýzy srážko-odtokových poměrů. Pro celé období byly z průměrných denních průtoků na profilech SLA2 a ROL1 spočítány prahové hodnoty Q_{355} , Q_{330} a Q_{90} . Dále byly určeny 3-denní a 7-denní minimální průtoky.

Jako suchá období byla vybrána ta, kdy více dnů za sebou nedosáhl průměrný denní průtok na profilu SLA2 hodnoty Q_{330} (pro SLA2 byla stanovena jako $0,082 \text{ m}^3/\text{s}$) a ideálně (kromě jednoho suchého období) také alespoň jeden z průtoků byl nižší než hodnota Q_{355} (pro SLA2 byla

stanovena jako 0,054 m³/s). Období, která byla pro analýzu suchých období vybrána, jsou zobrazena v Tabulce 2.

Vybrané období	Průměr Q [m ³ /s]	Q _{min} [m ³ /s]	Q _{max} [m ³ /s]	Denní Q<Q ₃₅₅	Denní Q<Q ₃₃₀
2. – 8. 8. 2018	0,075	0,0387	0,131	1	5
2. – 8. 9. 2019	0,069	0,052	0,121	0	6
16. – 22. 5. 2020	0,051	0,042	0,086	5	2
18. – 24. 9. 2020	0,037	0,032	0,046	7	-

Tabulka 2 – Suchá období vybraná pro účely této práce, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Pro daná suchá období byly následně charakterizovány srážko-odtokové poměry. Pozornost byla věnována také chodům konduktivit během těchto období a teplotním poměrům na profilu SLA2.

Následně byla vybrána také zajímavá období s vyššími průtoky, která byla charakteristická nárůstem průtoku a u konce období opět návratem průtoku na stejnou hodnotu. U těchto období byly charakterizovány srážko-odtokové poměry. Pro všechna období byla následně provedena konstrukce hysterézních smyček, zobrazujících závislost elektrické konduktivity na průtoku, pro profil SLA2 a zařazení těchto smyček do kategorie podle jejich tvaru.

3.3.3. Hysterézní smyčky

Pro hodnocení chování konduktivity během srážko-odtokových extrémů popsaných výše byla využita konstrukce hysterézních smyček. Dosavadním využitím hysterézních smyček v hydrologii se zabývá kapitola 2.4., kde jsou popsána i základní pravidla konstrukce těchto smyček. Použita byla data v 10 – minutových intervalech z automatického měřáku KFGG PŘF UK na profilu SLA2.

Pro účely této práce byla elektrická konduktivita a průtok normalizovány na základě následujícího vzorce:

$$x = \frac{EC - EC_{min}}{EC_{max} - EC_{min}}$$








$$y = \frac{Q - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$

kde x a y jsou normalizované hodnoty v procentech. EC je elektrická konduktivita a EC_{max} a EC_{min} maximální a minimální hodnoty konduktivity naměřené během sledované události. Q je poté

aktuální průtok, zatímco Q_{\min} a Q_{\max} minimální a maximální hodnoty průtoku pro sledované období.

Smyčky byly na základě tvaru rozděleny do 7 kategorií, které byly vytvořeny na základě článků od Zuecca et. al (2016) a Su et. al (2017). Kategorie hysterézních smyček jsou zobrazeny na Obrázku 1. V této práci se objevují čtyři z níže zobrazených kategorií – 1, 2, 3 a 6. Nejčastěji se objevovaly typ 1 a typ 3. Typ smyčky 1 je charakteristický chodem křivky po směru hodinových ručiček, kdy s příchodem zvýšených průtoků dochází k postupnému poklesu konduktivity. Typ smyčky 3, pohybující se proti směru hodinových ručiček, se vyznačuje poklesem konduktivity spolu s nárůstem průtoku, kdy ale okamžitě po dosažení maximálního průtoku dojde k nárůstu konduktivity.

Obrázek 2 – Tvary hysterézních křivek

Hysterézní křivka	Typ křivky
	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7

3.3.4. Hodnocení jakosti povrchových vod

V závěru práce bylo provedeno orientační hodnocení jakosti povrchových vod pro vybrané parametry podle normy ČSN 75 7221 z roku 2017. Z jednotlivých naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr pro jednotlivé roky a ten následně použit pro orientační zařazení do jedné z následujících jakostních tříd:

- I. jakostní třída – neznečištěná voda
- II. jakostní třída – mírně znečištěná voda
- III. jakostní třída – znečištěná voda
- IV. jakostní třída – silně znečištěná voda
- V. jakostní třída – velmi silně znečištěná voda

V rámci diplomové práce bude následovat další vyhodnocení změn jakosti povrchových vod s využitím dat Podniku Povodí Ohře na profilu Nové Hamry na Rolavě, kde je větší pravděpodobnost antropogenního ovlivnění kvality povrchové vody.

4 Charakteristika zájmových pramenných oblastí

Pro tuto bakalářskou práci byla využita data pro párové povodí horní Rolavy a jejího levostranného přítoku Slatinného potoka. V této kapitole práce jsou uvedeny přírodní poměry (geologie, geomorfologie, klimatické poměry a krajinný pokryv) a antropogenní ovlivnění pro tuto oblast. Povodí leží na severozápadě Čech u hranic s Německem a ústí do řeky Ohře, která poté pokračuje do Labe. Administrativně území patří pod Karlovarský kraj, malou částí na severu zasahuje i na německé území.

4.1. Základní charakteristika

Povodí horní Rolavy je část povodí řeky Rolavy, která ústí do Ohře. Rozloha povodí je 55,67 km² (včetně povodí Slatinného potoka), délka Rolavy 36,6 km. Z toho protéká povodím horní Rolavy pouze část řeky dlouhá 16,32 km. Mapa povodí horního toku řeky Rolavy je zobrazena na Obrázku 1. Rolava pramení v Krušných horách pod Jeřábím vrchem (964,6 m n. m.) a vlévá se do Ohře v Karlových Varech, prvotním zdrojem vody je rašelinné vrchoviště (Matějů 2012). Na horním povodí Rolavy překonává rozdíl 270 metrů. Mezi významnější levostranné přítoky v povodí horní Rolavy patří Jelenní potok, výše zmiňovaný Slatinný potok (jinak nazývaný Černá voda) a Bílý potok, žádné významnější pravostranné přítoky se na horní Rolavě nenacházejí. Rolava je tokem III. řádu (DIBAVOD 2021). Na horním toku Rolavy ve výšce 804 m n. m. leží také vodoměrná stanice ČHMÚ Chaloupky (ČHMÚ 2021).

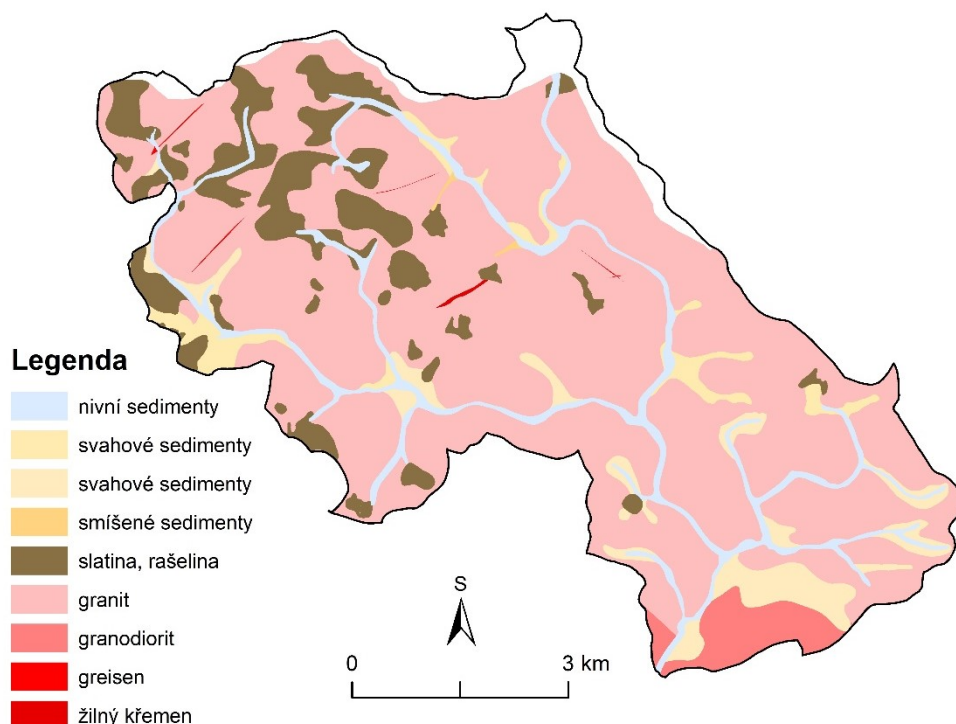
Slatinný potok je levostranným přítokem Rolavy, jeho délka je 9,6 km. Jediným významnějším přítokem je levostranný přítok Bukový potok. Rozloha povodí Slatinného potoka je 17,7 km². Slatinný potok ústí do Rolavy ve výšce okolo 745 m n. m. Slatinný potok pramení ve výšce okolo 920 m n. m. nedaleko Ploché hory (939 m n. m.), jde o tok IV. řádu., malá část povodí na severovýchodě území dokonce zasahuje až na území Spolkové republiky Německo.

Celé povodí horní Rolavy má uspořádání říční sítě stromovitého typu. Podle výpočtů Vlacha (2016) je Slatinný potok kvůli sklonitosti povodí i toku náchylnější k extrémním průtokům více než Rolava.

4.2. Přírodní poměry

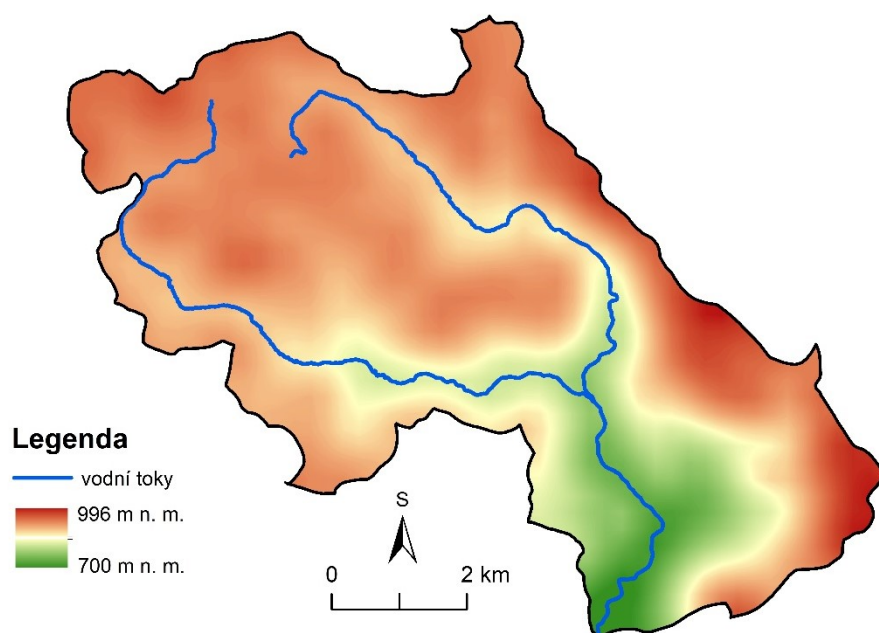
Povodí horní Rolavy leží v západní části Krušných hor, což je pohoří vytvořené krušnohorským krystalinikem během proterozoika. Většina hornin na daném území patří mezi metamorfované horniny magmatického původu, což jsou například ruly a granulity, v oblasti povodí horní Rolavy se často vyskytují také žuly. Na části území Krušných hor, v povodí horní Rolavy významně, jsou tyto horniny překryty sedimenty, většinou rašelinou (Škvor et. al 1964). Oblast povodí horní Rolavy je tvořena žulami krušnohorského plutonu, jejichž pukliny mohou obsahovat cínové zrudnění (Matějů 2012), dále se zde vyskytují fylity a granity až

granodiority (Demek et. al 2006). Geologické složení v povodí horní Rolavy je znázorněno na Obrázku 3.



Obrázek 3 – Geologická mapa povodí horní Rolavy, Zdroj dat: Česká geologická služba (2021)

Oblast je zařazena do následujících geomorfologických jednotek - Hercynského systému, provincie Česká vysočina, subprovincie Krušnohorská soustava, celku Krušných hor, Klínovecké hornatiny, v rámci níž patří do Přebuzské hornatiny. Ve vrcholové části jsou rozsáhlé zbytky zarovnaných povrchů a skalní tvary zvětrávání a odnosu žul. Nejvyšší horou této oblasti je Zaječí hora (1008,5 m n. m.), ale ta leží mimo oblast povodí horní Rolavy. Z vrcholů, které v povodí leží jsou nejvýznamnější zejména Jeřábí vrch (964,6 m n. m.), pod nímž Rolava pramení, a Čertova hora (987,4 m n.m.) (Demek et. al 2006). Výškové poměry povodí horní Rolavy jsou znázorněny na Obrázku 4, ze kterého plyne, že nejvyšší části území jsou zejména v jeho okrajových částech, hlavně na východě, zatímco nejnižší tam, kudy protékají vodní toky.



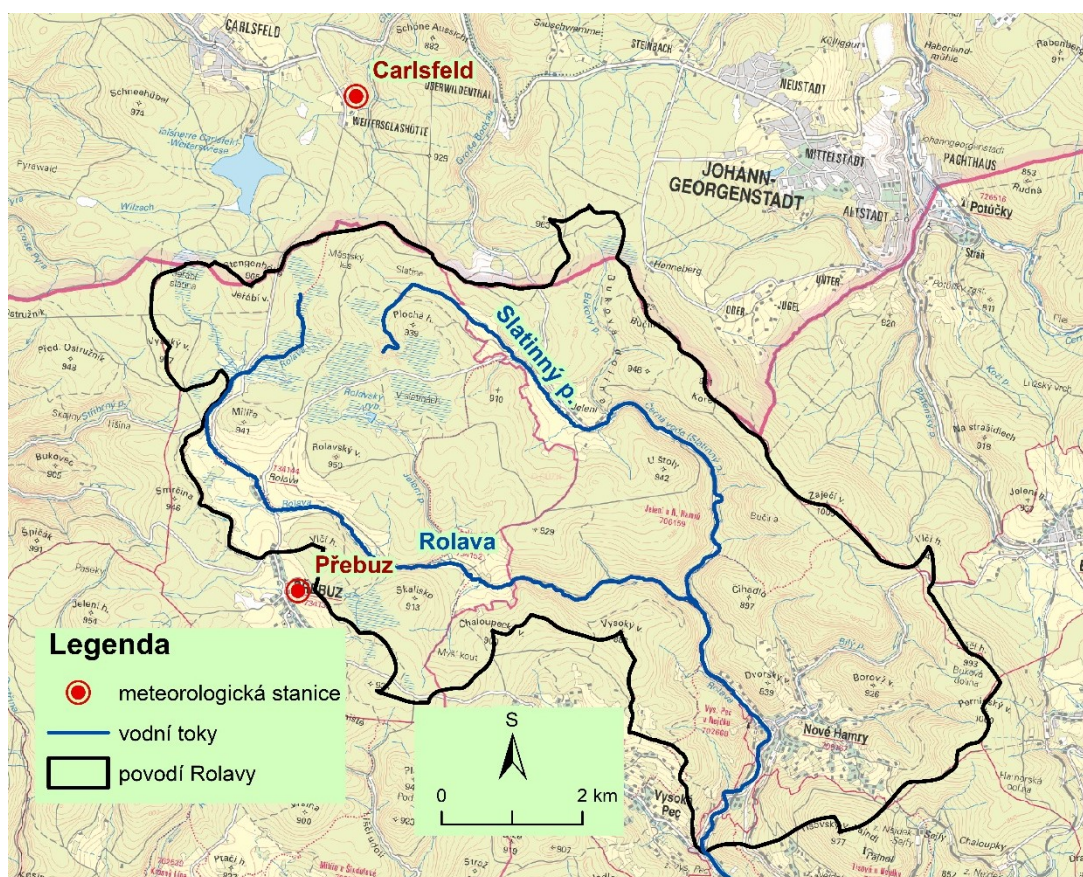
Obrázek 4 - Výškové poměry v povodí horní Rolavy, Zdroj dat: ČÚZK, DIBAVOD (2021)

V povodí horní Rolavy a Slatinného potoka najdeme množství rašelinišť, která mohou ovlivňovat kvalitu vody v tocích, stejně jako vliv srážkových extrémů na výkyvy v koncentracích jednotlivých ukazatelů kvality vody. Pramenné oblasti Slatinného potoka, Rolavy i Bukového potoka, který do Rolavy ústí, se nacházejí v oblasti s rozsáhlými horskými vrchovišti. Místy je vrstva rašeliny dokonce až 7 metrů vysoká (Matějů 2012). Rašeliniště podle EEA (2018) zabírají necelých 6 % území povodí horní Rolavy.

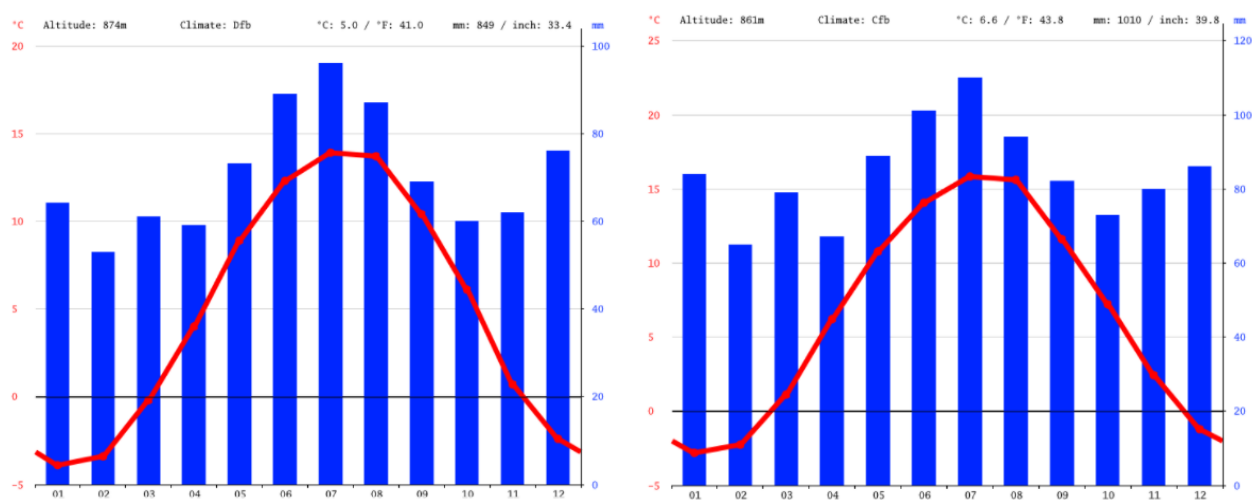
V povodí horní Rolavy se nachází následující půdní typy – podzoly, organozemě, gleje, pseudogleje, kambizemě, rankery, kryptopodzoly a antropozemě. Nejrozšířenější jsou v této oblasti zejména podzoly, následují organozemě (rašeliništní půdy) a kryptopodzoly. (ČGS 2021).

Podle Koppenovy klasifikace spadá území Krušných hor do boreálního (severského) typu klimatu (Dfb/Dfc). Tento typ klimatu se vyznačuje celoročním vlhkem a chladnějšími léty. Srážky jsou rovnoměrně rozloženy během celého roku.

Nejbližší meteorologická stanice v okolí je Přebuz, kde jsou měřeny srážkové úhrny, relativně nedaleko leží také meteorologická stanice Carlsfeld v Německu. Na české straně hranice najdeme ještě meteorologickou stanici Šindelová, kde jsou měřeny teploty vzduchu. Poloha obou stanic je zobrazena na Obrázku 5. Klimadiagramy od CLIMATE-DATA.org (2021) pro obě stanice jsou na Obrázku 6.



Obrázek 5 - Poloha meteorologických stanic (Přebuz, Carlsfeld) v okolí povodí horní Rolavy, Zdroj dat: ČÚZK, DIBAVOD (2021)

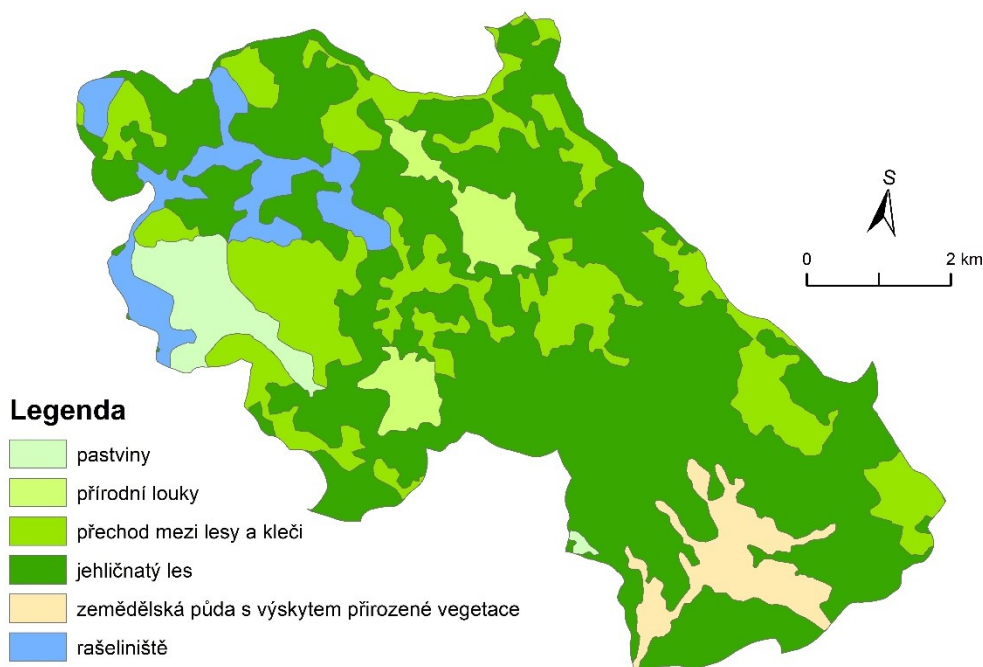


Obrázek 6 - Klimadiagramy pro (zleva) meteorologické stanice Carlsfeld a Přebuz, Zdroj: CLIMATE-DATA.ORG 2021

Oblast má po celý rok vyšší množství srážek s ročním úhrnem okolo 850 mm. Rozložení srážek je relativně rovnoměrné v průběhu celého roku s maximem v letních měsících. Výraznější množství srážek je pozorovatelné také v průběhu měsíců prosince a ledna. Nejchudším

měsícem na srážky je únor (stanice Přebuz – 53 mm), zatímco nejdeštivějším červenec (stanice Přebuz – 96 mm). Průměrné roční teploty se pohybují okolo 5 °C, kdy maximální teploty obvykle nastávají v červenci (stanice Přebuz - průměrná teplota 13,9 °C), zatímco minimální v průběhu ledna (stanice Přebuz - průměrná teplota -3,9 °C) (Climate-data.org 2021). Podle Buriánka (2012) je během roku přibližně 45 % dní mrazových, 22 % ledových a pouze necelé 3 % letních. Nejčastěji se vyskytují větry západních směrů. Délka vegetačního období je okolo 110 dní, kdy se teploty pohybují mezi 8 – 10 °C (Buriánek 2012). Sněhová pokrývka zde leží okolo 120 dnů, což je jedna z nejvyšších hodnot v celých Krušných horách (Matějů 2012).

Krajinný pokryv v povodí horní Rolavy je zobrazen na Obrázku 7. Podle EEA (2018) v povodí horní Rolavy zabírá největší plochu jehličnatý les (60 %), kde je největší zastoupení zejména rašelinné smrčiny, kromě smrků v nich roste i bříza pýřita a v podrostu třtiny, šáchy a vrbovky. Následuje přechodná zóna mezi lesy a kleči, která zabírá 21 % a oproti minulosti její plocha mírně narostla. V Krušných horách se v rašeliništích vyskytují zejména kleče, červeně zabarevné rašeliníky, lišejníky, místy můžeme najít i degradovaná rašeliniště, což jsou rašeliniště, která byla narušena těžbou (Chytrý et. al 2010). Necelých 5 % zabírá zemědělská půda s výskytem přirozené vegetace, která se objevuje zejména v okolí obce Nové Hamry. V západní části území můžeme narazit také na pastviny (4 %) a ostrůvkovitě se v povodí vyskytují přírodní louky (necelá 4 %) (EEA 2018).



Obrázek 7 - Krajinný pokryv v roce 2018 v povodí horní Rolavy, Zdroj dat: EEA (2018)

Rolava pramení v Národní přírodní rezervaci (NPR) Rolavská vrchoviště, která má rozlohu okolo 750 hektarů a zahrnuje krušnohorské rašelinné smrčiny a horská vrchoviště, ve které

pramení i Slatinný potok (AOPK ČR 2021). Po soutoku se Slatinným potokem Rolava prochází Přírodním parkem Jelení vrch. Nedaleko se nachází ještě Přírodní rezervace Malé jestřábí jezero a celá oblast leží v Přírodním parku Přebuz.

NPR Rolavská vrchoviště leží mezi bývalými osadami Rolava, Jelení a německou meteorologickou stanicí Carlsfeld. Z hlediska flory je oblast významná zejména populacemi rosnatky anglické, ostřice mokřadní, nachází se zde také jediná plodná populace blatnice bahenní v Krušných horách. Slatinný potok zde pramení v podlouhlé pánvi vyplněné menšími vrchovišti a rašelinnými smrčiny (Krušné hory 2021). Kromě významné biodiverzity je oblast také chráněná pro mnohé významné funkce rašeliňišť. Zejména proto, že fixují velké množství uhlíku a pomáhají bránit povodním. Oblast je také zajímavá bývalými cínovými doly (Matějů 2012).

4. 3. Antropogenní ovlivnění

Na kvalitu vody a celkově stav prostředí má kromě přírodních procesů nezanedbatelný vliv také člověk. Pohoří Krušných hor bylo v minulosti antropogenní činností ovlivněno velmi významně. Zejména dlouhodobé extrémní zatížení znečištěným ovzduším v této oblasti přispělo k rozpadu lesních porostů (Slodičák et. al 2008), nejvyšší roční koncentrace SO₂ zde byly zejména v 80. letech 20. století, nejvíce poškozené byly a stále částečně jsou zejména východní části pohoří, zatímco ty západní na tom jsou o něco lépe. Po roce 1989 se ale situace v celé oblasti začala významně snižovat a imise byly omezeny, postupně se tedy kvalita životního prostředí v Krušných dobách zlepšuje (Matějka 2017).

Přestože v dnešní době je oblast povodí horní Rolavy ovlivňována lidskou činností pouze v menší míře, nebylo tomu tak vždy. V celém povodí leží pouze jedna obec, Nové Hamry, kde na konci roku 2019 bydlelo pouhých 343 osob (ČSÚ 2021). V minulosti zde byly ještě dvě další obce, Rolava a Jelení, které ale zanikly. V Jelení dnes najdeme pouze penzion, restauraci a památník, obec Rolava je prakticky pustá. Osadu Rolava a Nové Hamry spojuje přes Jelení jediná zpevněná silnice, která povodím vede (Mapy.cz 2021). V minulosti se v oblasti těžilo stříbro, železná ruda a rýžoval se zde v řekách cín (Nové Hamry 2021). V povodí jsou také ústí štol, ze kterých do toku mohou ústít důlní vody (Mapy.cz 2021). U obce Nové Hamry leží stejnojmenný lyžařský areál, kde je asi pět kratších sjezdovek. Povodím horní Rolavy prochází velké množství běžkařských tras, které jsou v letním období využívány jako turistické (Mapy.cz 2021). To do okolí přivádí velké množství návštěvníků jak z ČR, tak z nedalekého Německa.

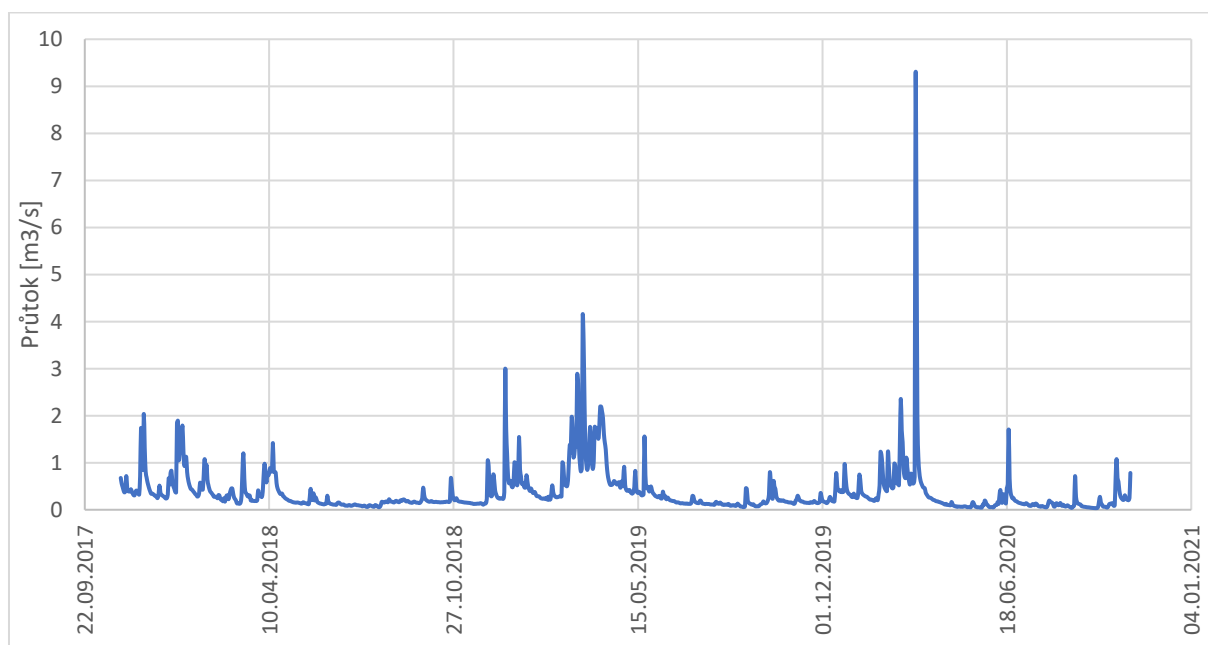
Více než polovina obyvatel obce Nové Hamry využívá pouze septiky a nejsou připojeni na čističku odpadních vod, což může způsobovat znečištění některých vodních toků v povodí horní Rolavy (PRVK 2018). Nejvíce znečištěný je pravděpodobně Bílý potok, který protéká přímo vesnicí.

5 Výsledky

V této kapitole jsou představeny výsledky jednotlivých analýz. Na začátku je uvedena analýza odtokových a srážkových poměrů, následně práce pokračuje analýzou jednotlivých srážko-odtokových událostí, analýzou geochemismu a orientačním zařazením vody podle kvality do jakostních tříd.

5.1. Analýza odtokových a srážkových poměrů

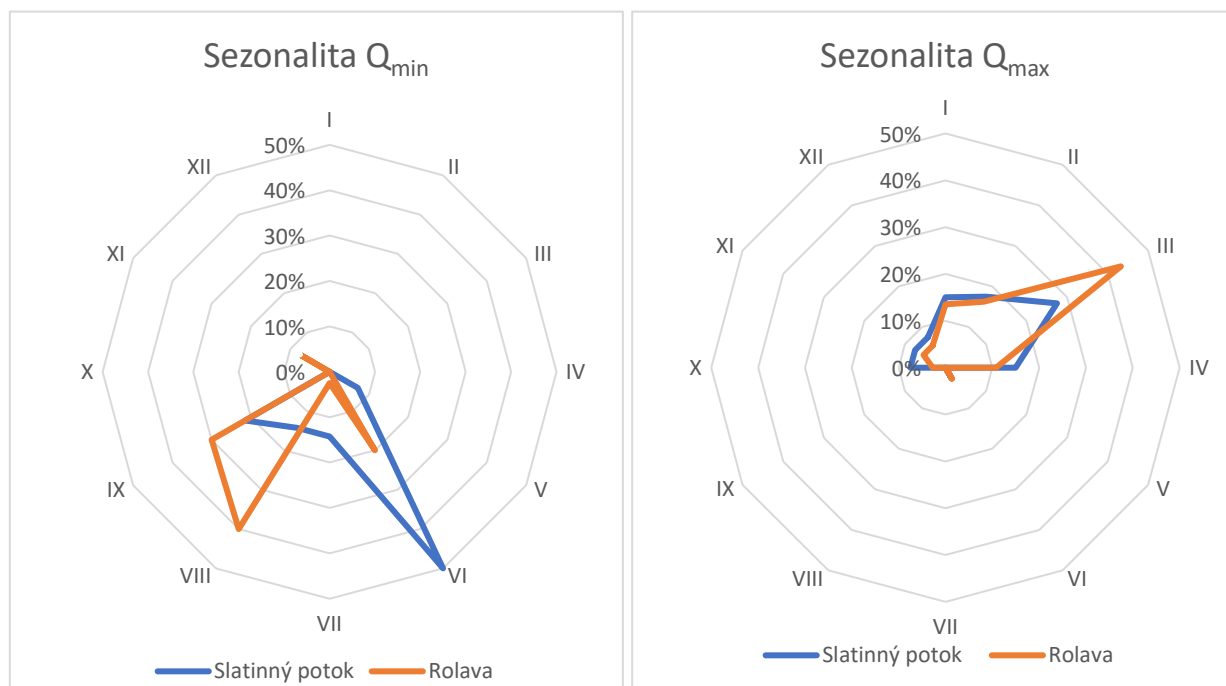
Tato část představuje výsledky analýzy odtokových, srážkových a teplotních poměrů v povodí Rolavy pro hydrologické roky 2018, 2019 a 2020, které jsou později využity pro výběr jednotlivých extrémních srážko-odtokových událostí a analýzy chemismu v toku během nich. Pozornost je věnována zejména profilu SLA2, pro který byla dostupná 10-minutová data, takže bylo možné jednotlivé události lépe analyzovat. Chod průtoků v průběhu období 2017 – 2020 na profilu SLA2 je zobrazeno na Grafu 1.



Graf 1 - Chod denních průměrných průtoků v profilu SLA2 mezi lety 2018 a 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Sezonalita nejnižších a nejvyšších průtoků byla na obou profilech velmi výrazná. Analyzována byla pomocí 10 nejnižších a 10 nejvyšších průtoků pro každý rok, které následně byly zaneseny do Grafu 2 (Sezonalita Q_{\min}) a Grafu 3 (Sezonalita Q_{\max}). Zajímavé je také srovnání chování minimálních průtoků na Rolavě a Slatinném potoce. Na Slatinném potoce se minimální průtoky koncentrovaly zejména do měsíce června a září, zatímco na Rolavě spíše v pozdním létě, tedy od srpna do září. Naopak žádné průtoky nižší než Q_{355} se v námi zvoleném období neobjevily

ani na jednom povodí v zimních a jarních měsících (leden, únor, březen, duben, prosinec) ani v měsíci říjnu.



Grafy 2 a 3 – Sezonalita 10 minimálních a 10 maximálních denních průtoků jednotlivých hydrologických letů pro profily SLA2 a ROL1, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Oproti tomu maximální průtoky se vyskytovaly na obou profilech zejména v jarním období s maximem v březnu. Na Rolavě ale do měsíce března spadá větší procentuelní podíl maximálních průtoků než na Slatinném potoce. Maximální průtoky měly zastoupení také v únoru a červnu. Naopak žádné maximální průtoky se neobjevovaly v květnu, červenci, srpnu a září.

Profil	Q_{355} [m ³ /s]	Q_{330} [m ³ /s]	Q_{90} [m ³ /s]
SLA2	0,055	0,082	0,417
ROL1	0,0954	0,11	0,561

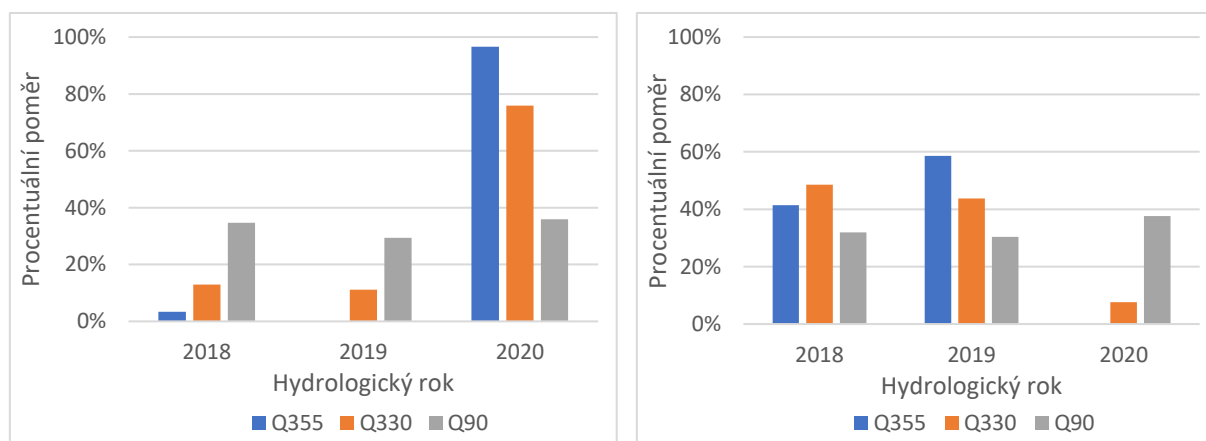
Tabulka 3 – Prahové hodnoty pro profily SLA2 a ROL1, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ

3 - denní minimální Q [m ³ /s]		7 - denní minimální Q [m ³ /s]	
2018	0,059	2018	0,062
2019	0,06	2019	0,066
2020	0,036	2020	0,037

Tabulka 4 – 3-denní a 7-denní minimální Q pro profil SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

K výběru suchých období byly použity prahové hodnoty Q_{355} , Q_{330} a Q_{90} , které byly spočítány pro celé období. Hodnoty těchto prahových hodnot jsou uvedeny v Tabulce 3. Hodnoty 3-denních a 7-denních minimálních průtoků jsou zobrazeny v Tabulce 4.

Procentuální výskyt průtoků nižších než tyto prahové hodnoty pro profily SLA2 a ROL1 je zobrazen v Grafech 4 a 5. Nejsušším rokem na profilu SLA2 byl hydrologický rok 2020, během kterého nastalo nejvíce průtoků nižších než všechny tři prahové hodnoty. U profilu ROL1 byly průtoky nižší než prahové hodnoty více rovnoměrně rozloženy.

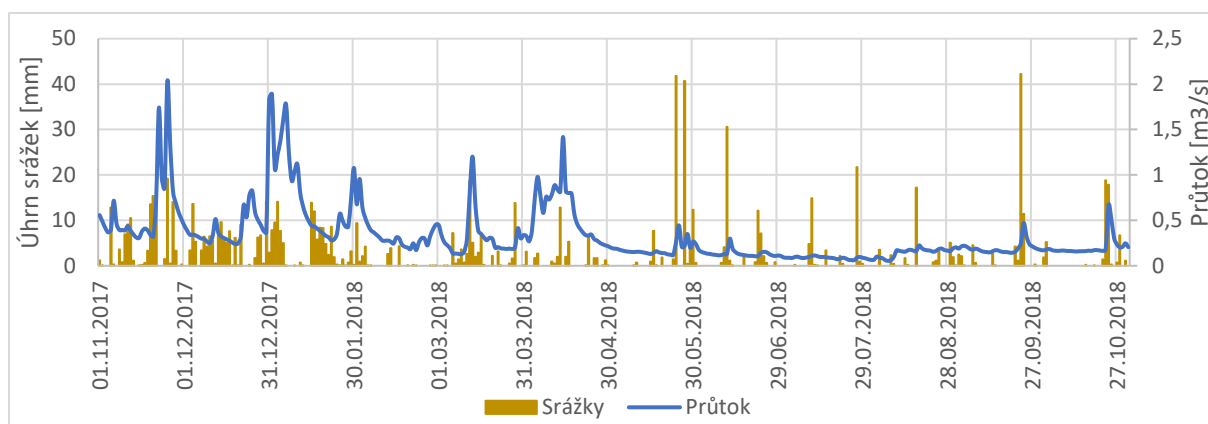


Grafy 4 a 5 – Procentuální výskyt průtoků nižších než prahové hodnoty pro (zleva) profil SLA2 a ROL1, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ

Naopak na Rolavě nesledujeme stejný trend. Zdá se, že u Rolavy byl nejsušším rokem rok 2019, který měl nejvíce průtoků nižších než Q_{355} a Q_{330} . Průtoky nižší než Q_{90} se ale opět nejčastěji objevily v roce 2020, takže pravděpodobně byl rok celkově sušší, jen obsahoval méně extrémně nízkých průtoků.

5. 1. 1. Hydrologický rok 2018 na profilu SLA2

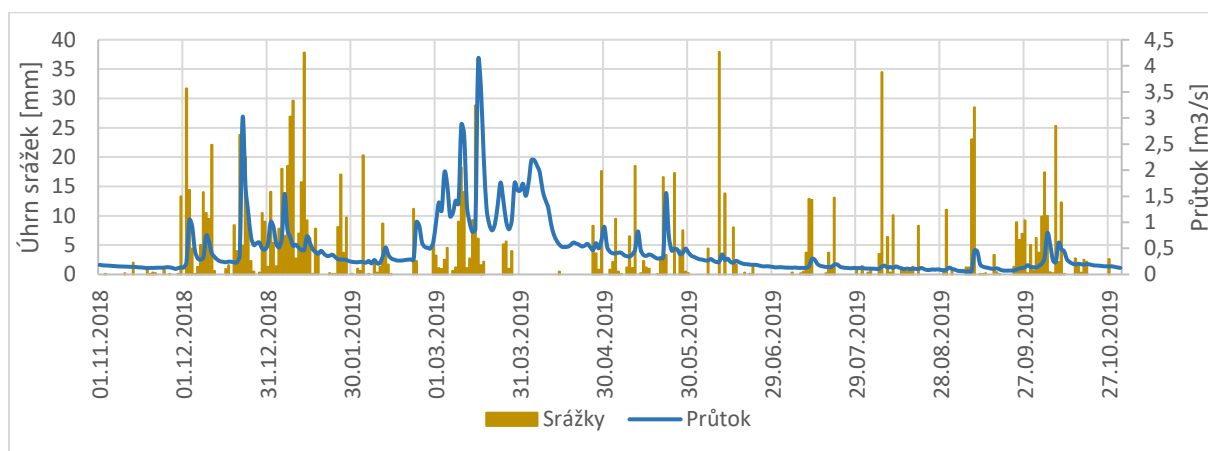
Na profilu SLA2 byl hydrologický rok 2018 nejméně rozkolísaným rokem ze sledovaného období. Rozložení průměrných denních průtoků a denních úhrnů srážek je zobrazeno v Grafu 6. Nejvyšší průtoky v tomto roce nastaly zejména v zimním a jarním období, zatímco léto bylo spíše suché a bez větších extrémních průtoků. Nejnížší průtok nastal 7. 8. 2018 ($0,054 \text{ m}^3/\text{s}$) a byl to jediný průtok v tomto hydrologickém roce nižší než prahová hodnota Q_{355} . Nejvyšší průtok nastal 25. 11. 2017 ($2,04 \text{ m}^3/\text{s}$) po několikadenních výraznějších srážkách. Nedošlo zde tedy k žádnému opravdu výraznému průtoku. Zajímavé je chování potoka také během výrazných letních a jarních srážek, kdy došlo ke srážkám vyšším než 40 mm denně, ale reakce průtoků byla sice pozorovatelná, ale nepřiliš výrazná. Chod srážek a průtoků během tohoto hydrologického roku je zobrazen v Grafu 6.



Graf 6 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2018 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFFG PŘF UK

5. 1. 2. Hydrologický rok 2019 na profilu SLA2

Během hydrologického roku 2019 se na profilu SLA2 již objevilo více extrémních průtoků. Tento rok byl ale zároveň nejvodnější z všech tří pozorovaných roků, kdy u všech tří hodnot dosáhly průtoky nejnižší nedosažení prahových hodnot Q_{355} , Q_{330} a Q_{90} . Na profilu se nevyskytl žádný průtok nižší než Q_{355} a pouze 12 průtoků nižších než Q_{330} (oproti roku 2017, kdy nastalo 14 takových průtoků a roku 2020, kdy došlo k 82 takovým průtokům).



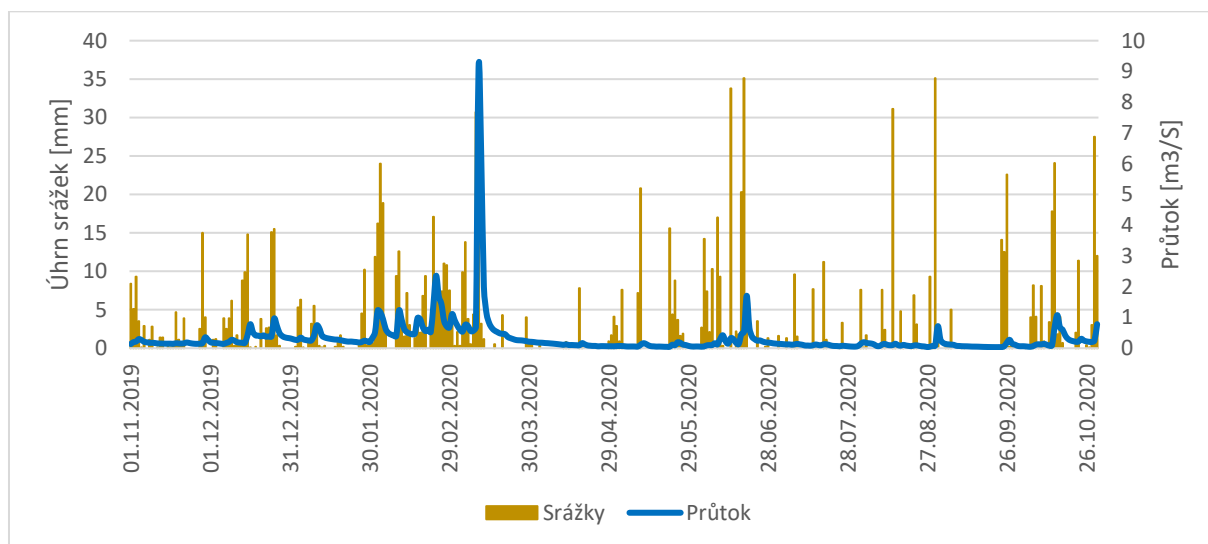
Graf 7 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2019 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFFG PŘF UK

Pozorovat lze zejména velké zvýšení průtoků během března 2019, které bylo pravděpodobně reakcí na tání sněhu v povodí kvůli vyšším teplotám vzduchu, které se spojilo s vyšším srážkovým úhrnem. Nejvyšší průtok během tohoto roku nastal 16. 3. 2019 ($4,09 \text{ m}^3/\text{s}$). Léto na Slatinném potoce bylo na vodu spíše chudší bez větších extrémních průtoků, vzdor tomu, že se někdy objevily přívalové srážky. Nejnižší průtok nastal 6. 9. 2019 ($0,056 \text{ m}^3/\text{s}$) a těsně překročil prahovou hodnotu Q_{355} . Tento průtok nastal po několika dnech bez srážek, kdy

hodnoty průtoků postupně klesaly. Chod srážek a průtoků během tohoto hydrologického roku je zobrazen v Grafu 6.

5. 1. 3. Hydrologický rok 2020 na profilu SLA2

Hydrologický rok 2020 byl na Slatinném potoce bezpochyby nejsušším rokem ze všech, které jsou porovnávány. Došlo k prohloubení hydrologického sucha v reakci na více roků za sebou s podprůměrnými průtoky. Zejména, co se týče průtoků, které byly nižší než Q_{355} , tak ty tvoří na Slatinném potoce 96,67 % z celkového počtu průtoků nižších než Q_{355} z celého sledovaného období. Během roku 2020 se tak objevuje celkem 29 dní, kdy byly průměrné denní průtoky nižší než prahová hodnota Q_{355} . Ze všech let bylo v roce 2020 také nejvíce průtoků nižších než Q_{330} a Q_{90} . Zejména u Q_{90} nastalo téměř stejně průtoků i v roce 2018. Hodnoty pro 3-denní a 7-denní minima byly také oproti ostatním rokům rekordně nízké. Chod srážek a průtoků během hydrologického roku 2020 je zobrazen v Grafu 8.



Graf 8 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFFG PŘF UK

Z grafu jsou patrná některá období, kdy byly průtoky extrémně nízké, nebo extrémně vysoké. Vysoké hodnoty dosáhl průtok zejména 11. 3. 2020, kdy přesáhl hodnotu $9 \text{ m}^3/\text{s}$, naměřený průtok odpovídá příslušným srážkám a teplotám, navíc při podrobnějším zkoumání 10-minutových dat byl vidět postupný nárůst a následně pokles. Správnou hodnotu vodního stavu potvrdilo i alternativní měření za pomoci ultrazvuku. Více informací o tomto extrémním průtoku, včetně hysterézních smyček, je v sekci 5. 3. 3. Dále je zde patrné zvýšení průtoků vždy v jarním období, pravděpodobně během jarního tání a následná suchá období na konci léta/začátku podzimu. Povodí se tedy chová z hlediska průtokových poměrů jako běžné horské povodí v pramenné oblasti.

Hydrologický rok 2020 byl také prvním rokem z analyzovaného období, u kterého jsou pozorovatelné extrémnější průtoky i během letního období, pravděpodobně v reakci na výrazné jednorázové srážky, které se vyskytovaly častěji než u jiných roků. Obecně ale bylo zejména léto a začátek podzimu roku 2020 extrémně suché s velkým množstvím průtoků nižších než Q_{355} . Velmi suché bylo zejména období od 13. 9. do 24. 9., kdy se průtoky pohybovaly okolo $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ s minimem 22. 9., kdy průtok dosáhl dokonce hodnoty $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2. Suchá období

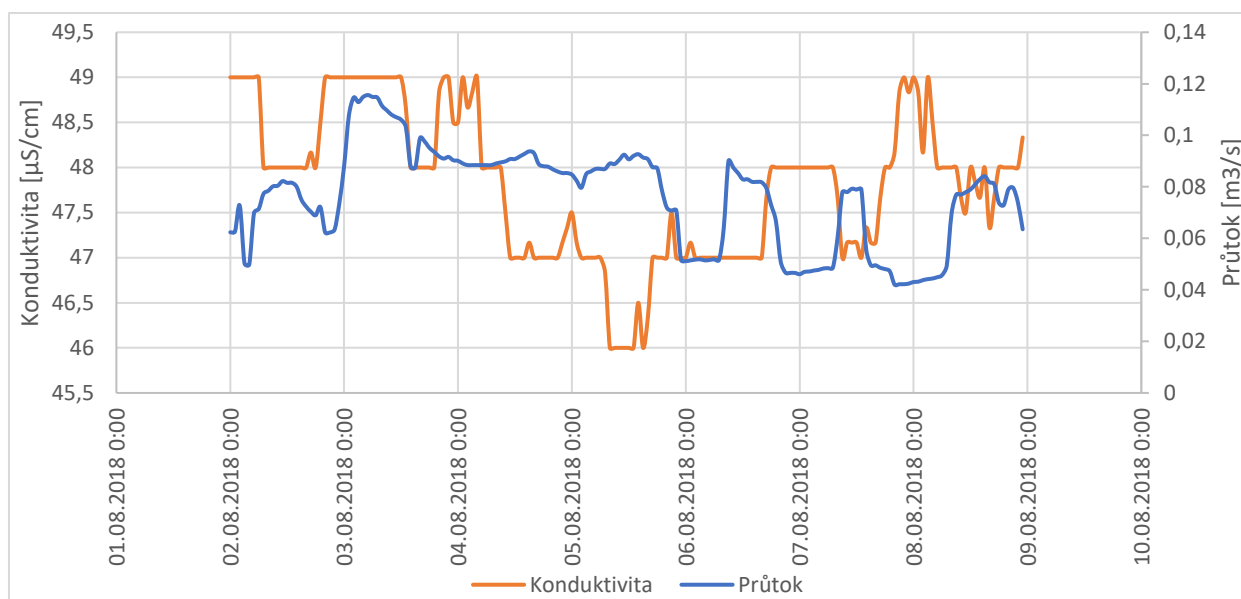
Tato kapitola se zabývá vybranými 7-denními obdobími, které byly vybrány na základě následujících podmínek. První z nich je, aby během alespoň jednoho dne v tomto období byl průtok nižší než prahová hodnota Q_{355} (tuto podmínku nesplňuje pouze 1 období) a alespoň 4 dny z tohoto období byly nižší než prahová hodnota Q_{330} . U těchto období byly poté analyzovány srážkové a průtokové poměry a reakce konduktivity na jejich změny. Všechna období jsou analyzována pro data z profilu SLA2.

5.2.1. Období od 2. 8. do 8. 8. 2018

Prvním analyzovaným obdobím bylo období od 2. 8. do 8. 8., jedno z nejsušších období hydrologického roku 2018. Během toho období nastal jediný průměrný denní průtok nižší než prahová hodnota Q_{355} a také 5 průměrných denních průtoků nižších než Q_{330} . Na druhou stranu během dvou zbývajících dnů došlo ke zvýšení průtoku až na maximální hodnotu pro toto období, která byla $0,131 \text{ m}^3/\text{s}$. Chod průměrných hodinových průtoků pro toto období je zobrazen v Grafu 9.

Vybrané období	Průměr Q [m^3/s]	Q_{\min} [m^3/s]	Q_{\max} [m^3/s]	Denní $Q < Q_{355}$	Denní $Q < Q_{330}$
2. – 8. 8. 2018	0,075	0,039	0,131	1	5

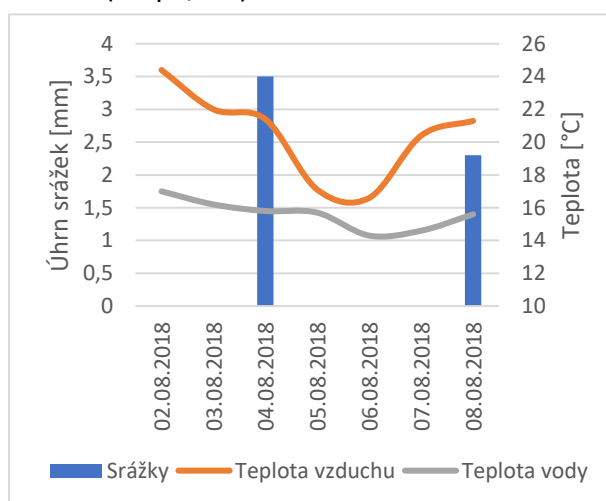
Tabulka 5 – Vybrané období 2. – 8. 8. 2018, Zdroj dat: KFGG PŘF UK



Graf 9 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 2. 8. do 8.8. 2018 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

I u průměrných hodinových hodnot konduktivity a průtoků můžeme vidět, že konduktivita velmi výrazně reaguje na změny v průtoku. Maxima (49 $\mu\text{S}/\text{cm}$) konduktivity dosáhla během sledovaného období několikrát, zejména na začátku. Poté následoval pozvolný pokles konduktivity až na minimum pro toto období (46 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Následoval opět postupný nárůst na původní hodnoty a poté pokles.

Graf 10 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 2. 8. do 8.8. 2018 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ



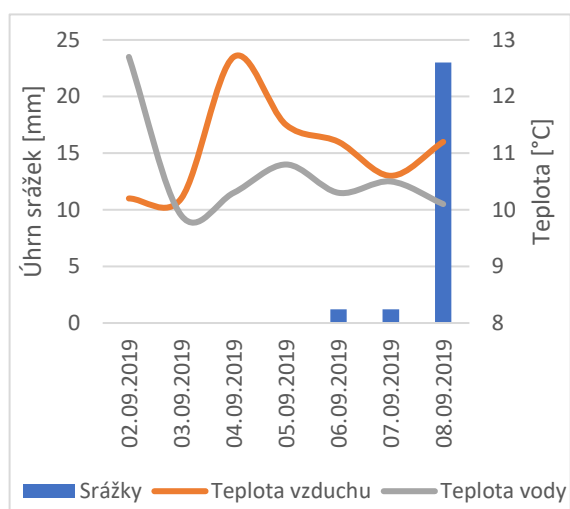
Na Grafu 10 je zobrazen chod teploty vody a vzduchu v daném období. Menší úhrny srážek nastaly během sledovaného období dvakrát, nikdy ale ne tak výrazné, aby ve vyšší míře ovlivnily průtok. Před tímto obdobím bylo dlouhou dobu velmi sucho, první výraznější srážky byly 27.7. 2018, kdy došlo k spadu 22 mm.

5.2.2. Období od 2. 9. do 8. 9. 2019

Jediným vybraným obdobím za hydrologický rok 2019 bylo období od 2. do 8. září 2019, kdy sice nedošlo k žádnému průtoku nižšímu než prahová hodnota Q_{355} , ale šest ze sedmi průtoků v tomto období bylo nižších než Q_{330} . Chod konduktivity a průtoků je zobrazen v Grafu 12. Zajímavé je periodické kolísání průtoků, které nepůsobí příliš věrohodně, ale po kontrole dat a jejich přepočtu na hodinové intervaly data stále stejně kolísala. Kolísání v průtoku navíc v tomto případě odpovídá i výrazné kolísání v konduktivitě.

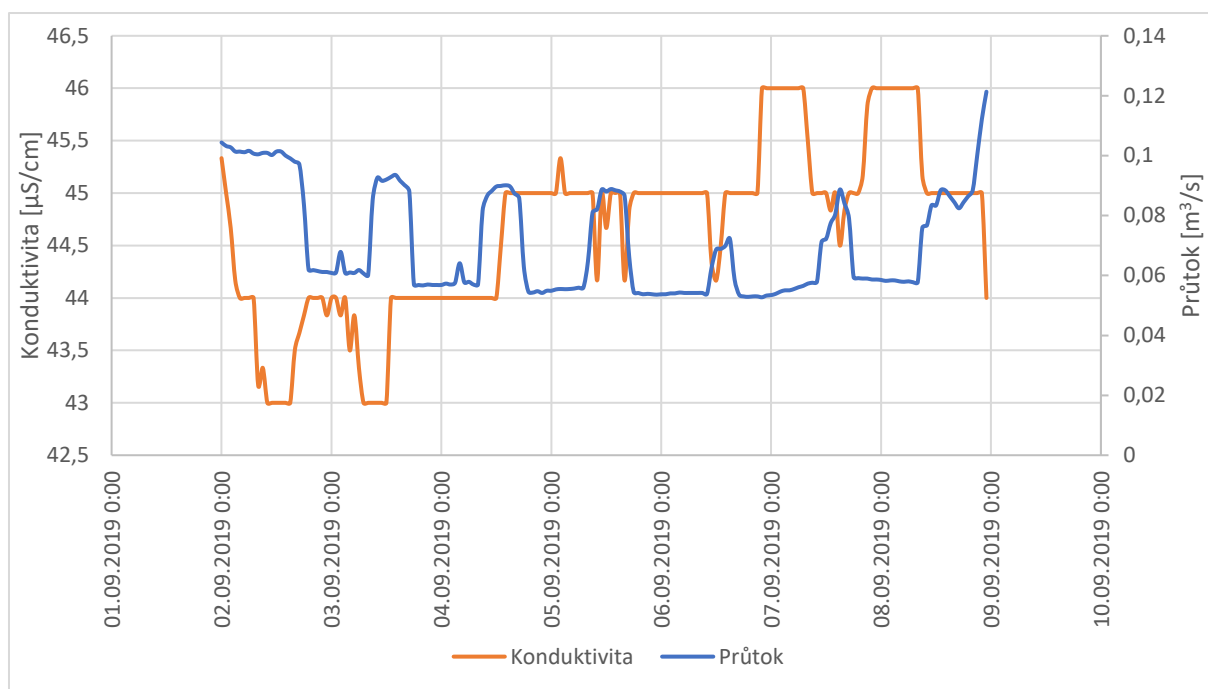
Vybrané období	Průměr Q [m ³ /s]	Q _{min} [m ³ /s]	Q _{max} [m ³ /s]	Denní Q<Q ₃₅₅	Denní Q<Q ₃₃₀
2. – 8. 9. 2019	0,069	0,052	0,121	0	6

Tabulka 6 – Vybrané období 2. – 8. 9. 2019, Zdroj dat: KFGG PŘF UK



Graf 11 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 2. 9. do 8. 9. 2019 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ

Graf 11 zobrazuje rozložení úhrnů srážek a teploty vzduchu a vody. Jak můžeme vidět, největší úhrn srážek nastal až na konci sledovaného období, 8. 9. 2019, i když i dva dny před tím došlo k nízkým, ale téměř zanedbatelným úhrnům srážek. Naopak teploty výrazně kolísaly. Teplota vzduchu prudce vzrosla přibližně v polovině sledovaného období a poté se postupně vrátila na původní hodnotu (10 – 11° C). Oproti tomu teplota vody byla vyšší zejména v období do 2. 9. 2019 (včetně) a poté se pohybovala přibližně mezi 10 a 11° C.



Graf 12 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 2. 9. do 8. 9. 2019 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

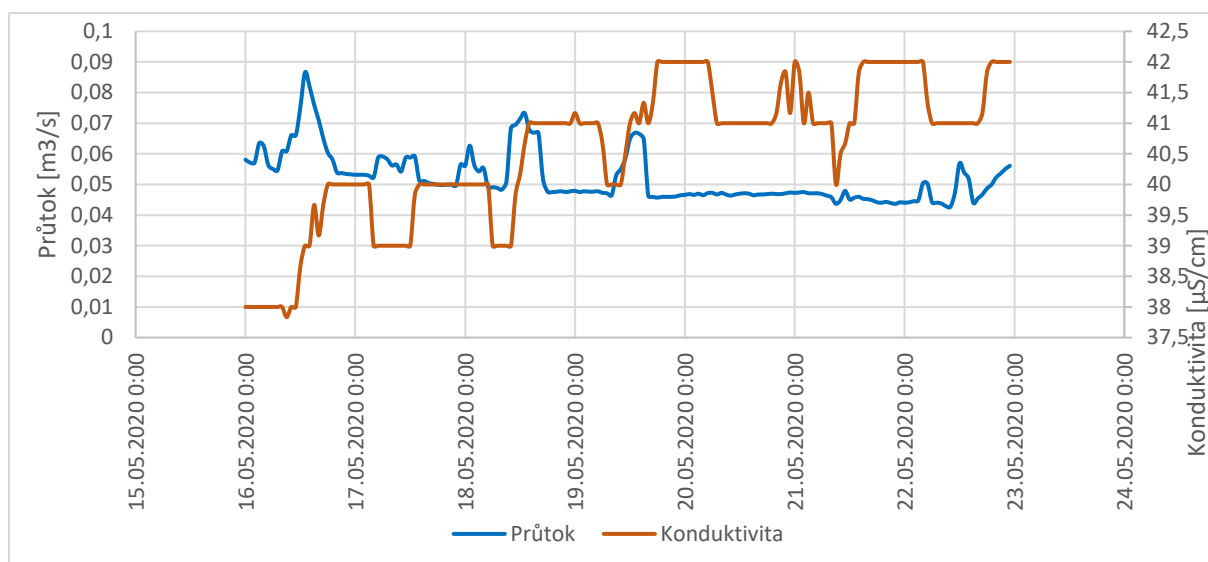
5.2.3. Období od 16. 5. do 22. 5. 2020

Dalším významně suchým 7-denním obdobím bylo období od 16. 5. do 22. 5. 2020. Pět průměrných denních průtoků bylo nižších než prahová hodnota Q_{355} a zbývající dva průtoky nižší než Q_{330} . Chod konduktivity a průtoků je zobrazen v Grafu 13. Průtok se, kromě několika výkyvů, držel po celé sledované období na stabilně nízkých hodnotách. Nejnižší hodnota nastala 22. 5. 2020 v 10:00 ($0,42 \text{ m}^3/\text{s}$).

Vybrané období	Průměr Q [m^3/s]	Q_{\min} [m^3/s]	Q_{\max} [m^3/s]	Denní $Q < Q_{355}$	Denní $Q < Q_{330}$
16. – 22. 5. 2020	0,051	0,042	0,086	5	2

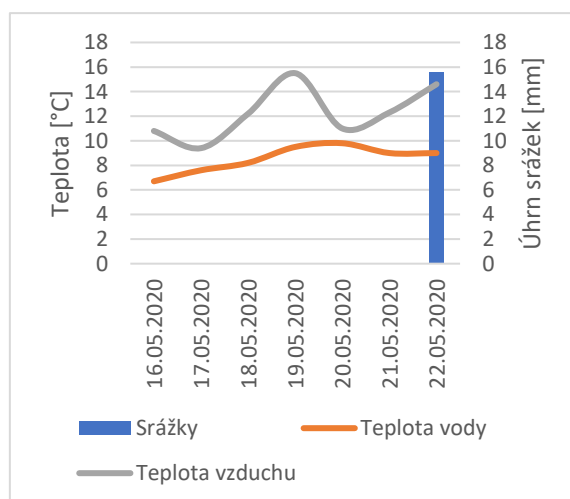
Tabulka 7 – Vybrané období 16. – 22. 5. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Konduktivita se postupně během celého období zvyšovala, zřetelně můžeme pozorovat její reakci na zvýšení průtoku, kdy došlo opět k propadu konduktivity. Dochází zde ale i k několika propadům, které určitě nemohou být podmíněny průtokem, protože před nimi nebo během nich nedošlo k žádné výraznější změně v průtocích. Nejvyšší hodnoty ($42 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$) konduktivity dosáhla několikrát, zejména v druhé polovině sledovaného období. Nejnižší ($38 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$) byly její hodnoty na začátku pozorování při vyšších průtocích.



Graf 13 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 16. 5. do 22. 5. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Během celého období nedošlo k žádnému úhrnu srážek, až na konci pozorovaného období, 22. 5. 2020 došlo k úhrnu 15,6 mm a následnému prudkému nárůstu průtoku. Výraznější srážky se tu neobjevily ani několik dní před pozorovanou epizodou. První významnější úhrny srážek nastaly 11. 5. 2020 (20,8 mm).



Graf 14 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 16. 5. do 22. 5. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ

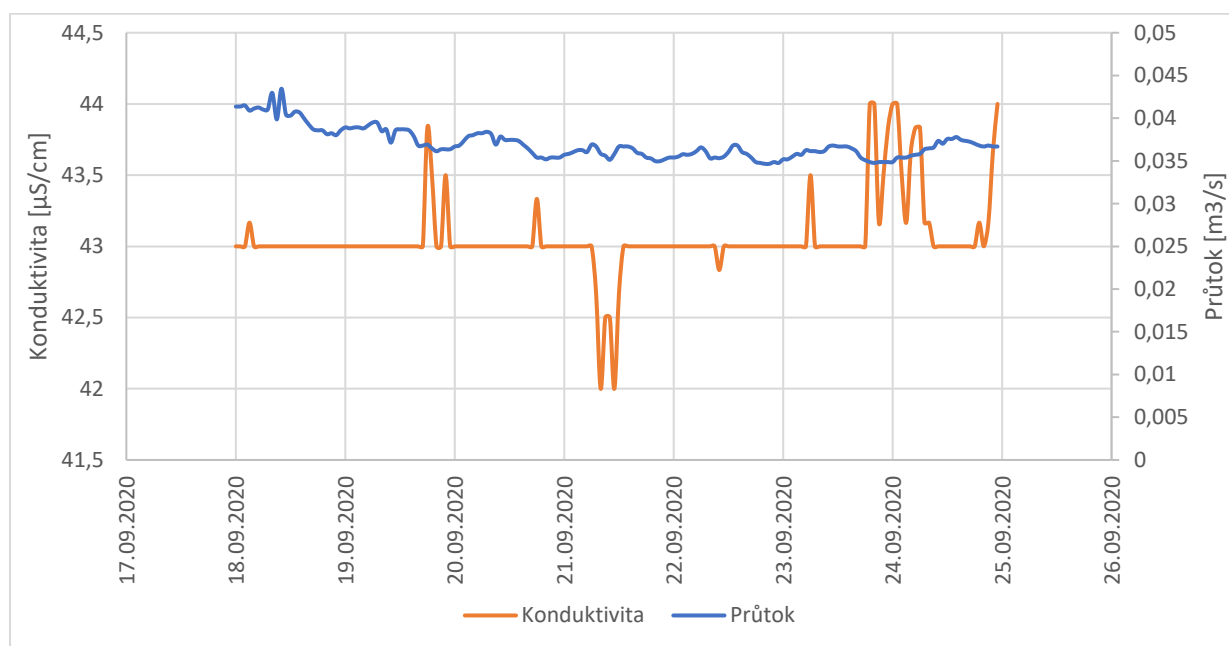
Chod teplot vzduchu a vody pro toto období je zobrazen v Grafu 14. Zatímco teploty vody byly po celé období relativně stabilní a bez výraznějších výkyvů, teploty vzduchu se měnily výrazněji s maximem 19. 5. a minimem 17. 5. a rozdílem mezi nejvyšší a nejnižší teplotou přibližně 6° C.

5.2.4. Období od 18. 9. do 24. 9. 2020

Nejsušším obdobím během celého sledovaného období byl týden od 18. do 24. září 2020, kdy byly všechny průtoky nižší než prahová hodnota Q_{355} . Chod hodinových průměrných průtoků a konduktivit je zobrazen v Grafu 15. Nejnižší průtok, zároveň celkově nejnižší denní průměrný průtok z celého sledovaného období, nastal 22. 9. 2020 ($0,035 \text{ m}^3/\text{s}$). Tyto velmi nízké průtoky následovaly po dlouhém období bez dešťů. Úhrny srážek zde nejsou v žádném grafu zobrazeny, jelikož ke srážkám došlo až poslední den sledovaného období. Naprosto bez srážek bylo také období před námi sledovaným obdobím od 6. 9. 2020, kdy pouze jeden den došlo k úhrnu 0,4 mm a jinak bylo zcela suché.

Vybrané období	Průměr Q [m^3/s]	Q_{\min} [m^3/s]	Q_{\max} [m^3/s]	Denní $Q < Q_{355}$	Denní $Q < Q_{330}$
18. – 24. 9. 2020	0,037	0,032	0,046	7	-

Tabulka 8 – Vybrané období 18. – 24. 9. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK



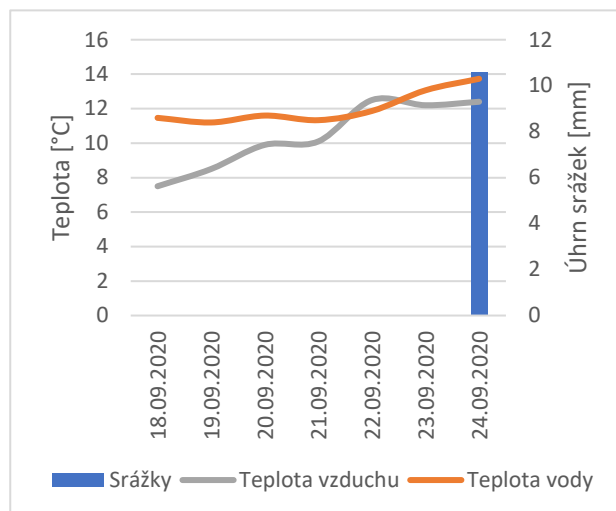
Graf 15 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoků a konduktivity v období od 18. 9. do 24. 9. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Chod teplot vzduchu a vody je zaznamenán v Grafu 16. Teploty vzduchu dosahovaly relativně nízkých hodnot, ve většině dnů dokonce nižších hodnot než u teploty vody. Ve stejném grafu

je zaznamenán i úhrn srážek, které ale nastaly až poslední den sledovaného období. Během tohoto období nastaly nízké průtoky i na Rolavě, všechny dny nižší průtoky než Q_{330} .

Konduktivita vykazovala relativně vysoké hodnoty (42 – 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$) oproti běžným hodnotám na Slatinném potoce, ale zdá se, že malé změny v konduktivitě, které během období nastaly, byly spíše náhodné a nemají přesnou souvislost s průtokem.

Graf 16 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 18. 9. do 24. 9. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ

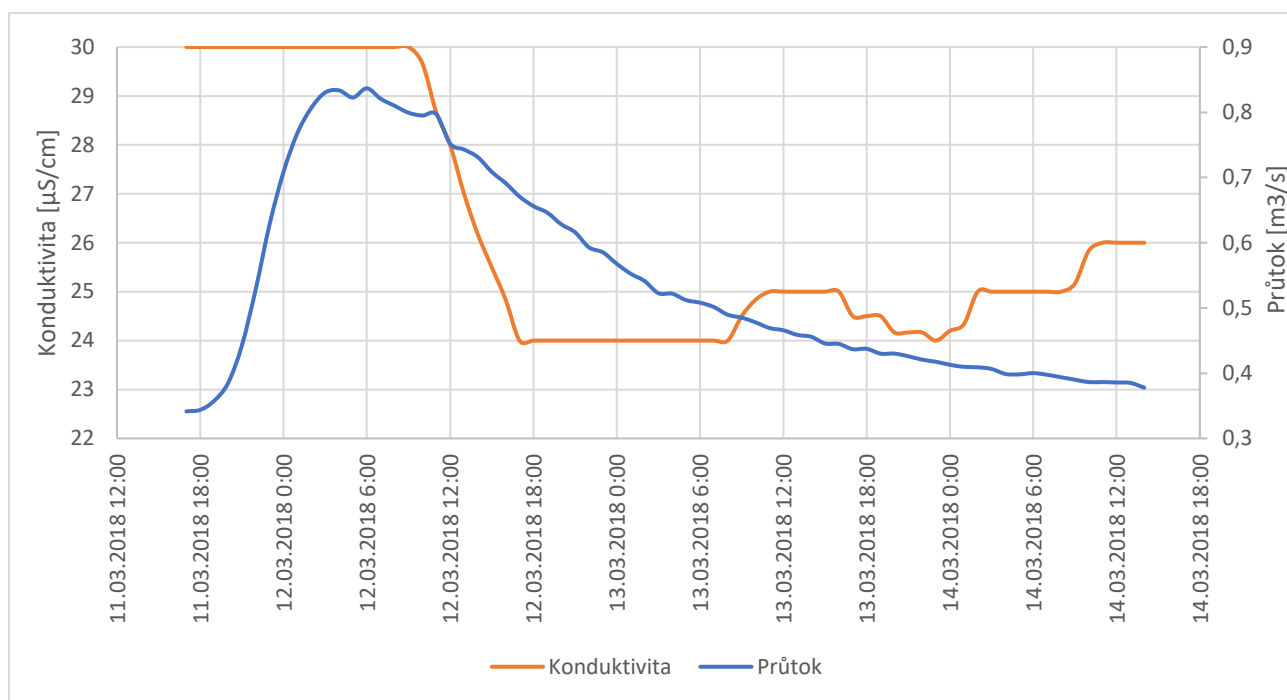


5.3. Období s výraznými průtoky

V následující kapitole jsou popsána některá období s vyššími průtoky a vliv zvýšení extrémních průtoků na konduktivitu zejména pomocí hysterézních smyček. Období byla vybrána tak, aby vykazovala různé druhy reakce konduktivity na změny v průtoku, které se vyskytují na Slatinném potoce. Kromě vybraných a blíže popsaných čtyř období s extrémními průtoky byla vytvořena celá řada hysterézních smyček EC-Q pro různé průtokové události, které jsou přiloženy v Příloze.

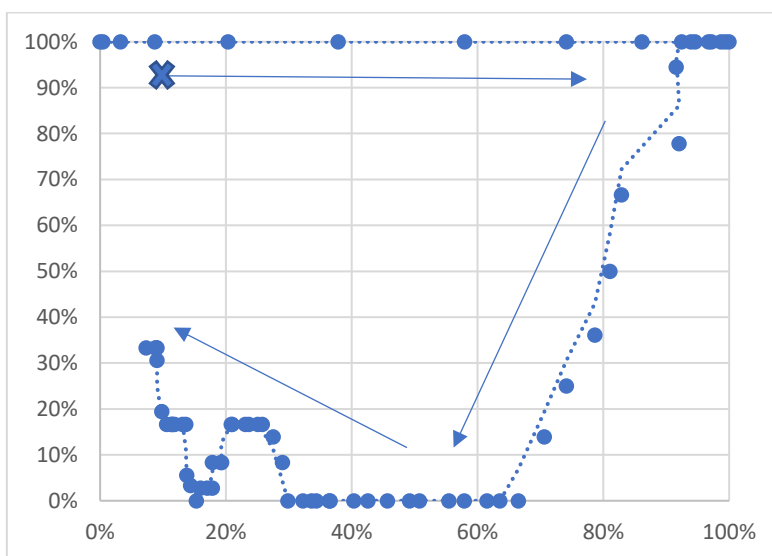
5.3.1. Období od 11. do 15. 3. 2018

Z hlediska vyšších průtoků bylo velmi zajímavé období od 11. 3. do 15. 3. 2020, kdy sice průtoky nedosáhly tak vysokých hodnot, ale velmi zajímavé bylo chování konduktivity, která zareagovala na zvýšení průtoků jinak než v ostatních případech uvedených dále. Během 11. 3. 2018 došlo k prudkému nárůstu průtoku, na který konduktivita zareagovala až se zpožděním a začala se prudce snižovat až po kulminaci průtoku. Před zvýšením průtoků nedošlo k žádným extrémním srážkám, ale 12. 3. došlo k úhrnu srážek 19 mm, což určitě podpořilo velmi pozvolný pokles průtoků na původní hodnotu. Zajímavý je také propad v hodnotách konduktivity, který nastal poté, co se začala opět zvyšovat během opětovně nízkých průtoků. Chod průtoků a konduktivity v tomto období je zobrazen v Grafu 17.



Graf 17 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 11. 3. do 15. 3. 2018 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

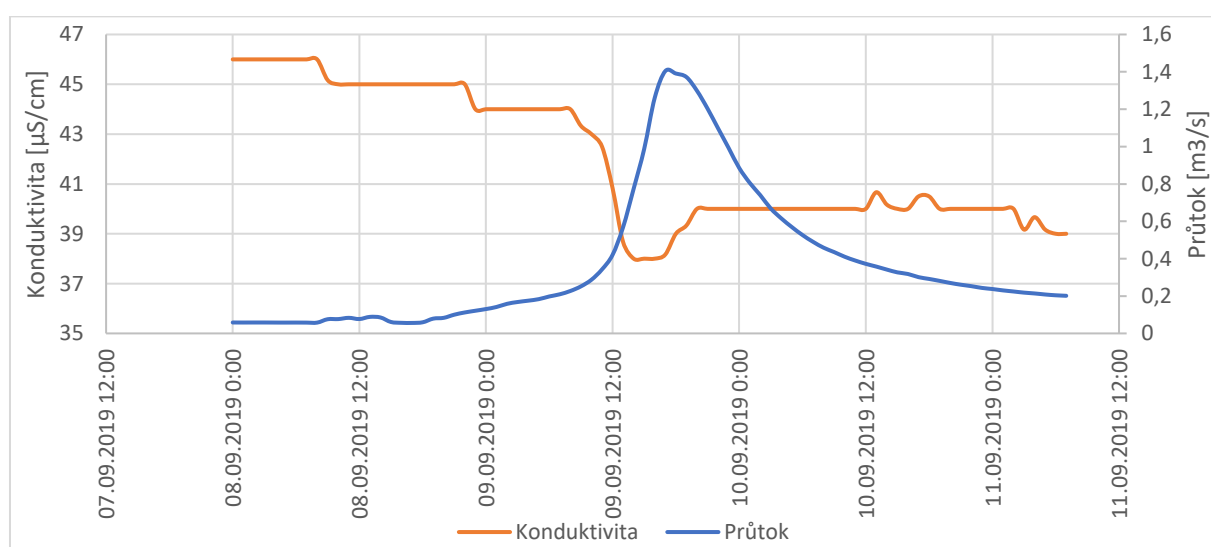
Hysterézní křivka EC-Q pro tento průtok je zobrazena na Grafu 18. Křivka je typu 1 – po směru hodinových ručiček. V tomto případě zůstává maximální hodnota konduktivity po celou dobu, dokud se průtok nezvýšil na 100% a poté následoval společný pokles obou hodnot až do minimální konduktivity. Poté pokračovaly nejnižší hodnoty konduktivity se stále se snižujícím průtokem. Výkyv na konci křivky je způsoben nečekaným propadem konduktivity při navracení se průtoku zpět na běžnou hodnotu pro Slatinný potok.



Graf 18 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 11. 3. do 15. 3. 2018, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

5.3.2. Období od 8. 9. do 11. 9. 2019

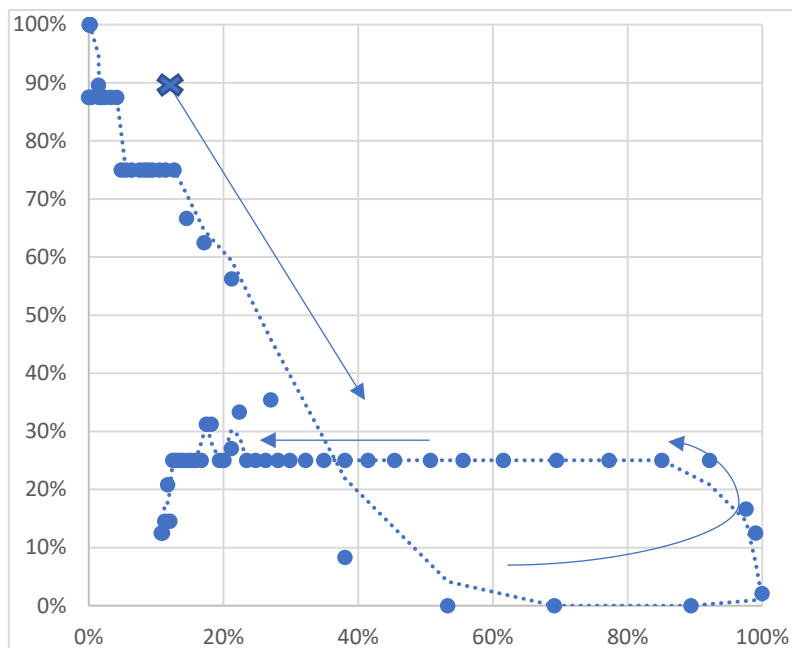
Zajímavým chováním se projevovала reakce konduktivity na vzrůst průtoku také v období 8. – 11. 9. 2019. Chod průměrných hodinových průtoků a konduktivit je zobrazen v Grafu 19. Pro pochopení chování konduktivity v tomto období je důležité zmínit zejména to, že tento zvýšený průtok následoval po období velmi dlouhého sucha, kdy od 5. do 8. 9. nastaly velmi nízké průtoky, někdy dokonce nižší než prahová hranice Q_{355} . Důležitá je prekondice povodí. I před tím ale dlouhodobě bylo spíše sucho a nebyly tam žádné výraznější vyšší průtoky. Sucho bylo dáno i minimem srážek, které v tomto období spadly. Kromě jednoho dne byl každý den úhrn srážek mezi 21. 8. a 5. 9. 2019 0 mm. Těsně před nástupem vyšší odtokové události spadlo dva dny za sebou větší množství srážek (23 a 28,5 mm).



Graf 19 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 8. 9. do 11. 9. 2019 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Kvůli velmi nízkým průtokům po delší dobu pozorované období začíná velmi vysokými hodnotami konduktivity, které jsou typické pro suchá období ($46 \mu\text{S/cm}$) a postupně s poklesem průtoků dochází ke snižování konduktivity až na minimální hodnotu pro tuto odtokovou událost ($38 \mu\text{S/cm}$), ke které dochází 2 – 3 hodiny před kulminací průtoku. Poté následuje velmi pozvolný nárůst konduktivity, která se ale mění podstatně pomaleji, než klesá průtok.

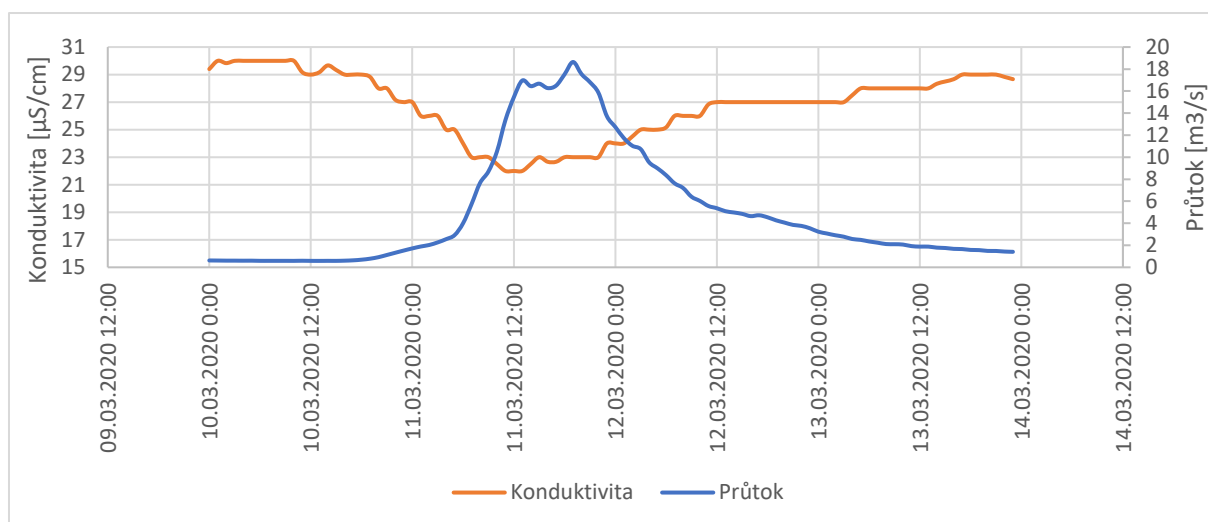
Na Grafu 20 je zobrazena hysterézní křivka EC-Q pro toto období. Smyčka je typu 6 a vyznačuje se poměrně lineárním zvyšováním průtoku a snižováním konduktivity až na minimum konduktivity. Poté dochází k obrácení křivky, kdy postupně ubývá průtok a hodnoty konduktivity se již pohybují až do poklesu průtoku na 0% okolo 25%.



Graf 20 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 8. 9. do 11. 9. 2019, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

5.3.3. Období od 10. do 13. 3. 2020

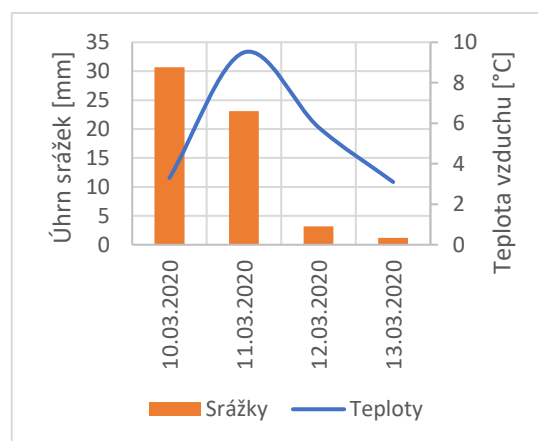
Jedním ze zajímavých období s výraznými průtoky, které bylo vybráno je období od 10. do 13. března 2020, kdy došlo k prudkému nárůstu se dvěma menšími kulminacemi. Chod průtoku a konduktivity je zobrazen v Grafu 21. Maximum průtoku nastalo 11. 3. v 19:00 a poté následoval opět pokles sestupné větve hydrogramu a postupné snižování průtoků na běžnou hodnotu. Během tohoto extrémního průtoku můžeme pozorovat také reakci konduktivity na změny v průtocích. Při nárůstu průtoků došlo ke snížení konduktivity a po kulminaci došlo opět k jejímu nárůstu na původní hodnotu. Maximální hodnotu konduktivity můžeme pozorovat na počátku a konci pozorovaného období, kdy dosahovala hodnoty okolo 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, což je hodnota, která je na Slatinném potoce běžná. Nejnižší hodnoty konduktivity dosáhla 11. 3. 2020 v 11:00 ještě před nejvyšším průtokem.



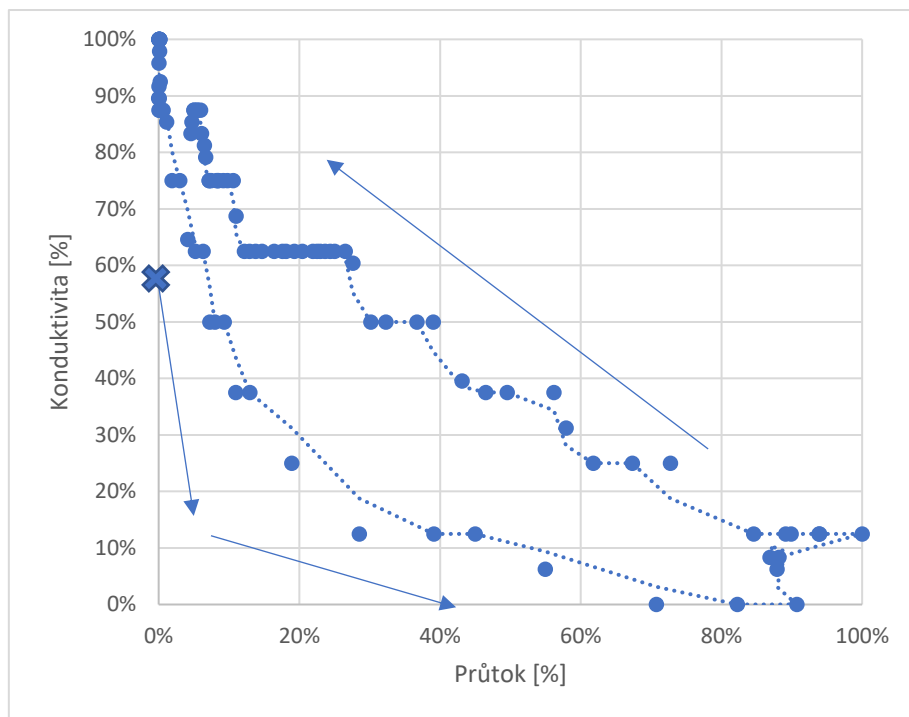
Graf 21 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 10. 3. do 14. 3. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Vyšší průtoky byly pravděpodobně reakcí na vysoké úhrny srážek, které nastaly 10. 3. 2020 (30,7 mm) a pokračovaly i v dalších dnech, i když již v menší míře. Úhrny srážek a teploty vzduchu ze stanice Šindelová jsou zobrazeny v Grafu 22. Stanice Šindelová je položená v nižší nadmořské výšce než profil na Slatinném potoce, lze tedy předpokládat, že na Slatinném potoce byla teplota přibližně o 1,5 °C nižší (podle teplotního gradientu). Díky poloze Slatinného potoka a zastínění oblasti byla ale teplota pravděpodobně ještě o něco nižší. Během vysokých srážek došlo ke krátkodobému zvýšení teploty, což by mohlo mít vliv na zvýšení tání sněhu v povodí a tím pádem zvýšení průtoku. Vzhledem k tomu, že ale nedošlo ke snížení teploty vody v toku, nepředpokládám, že by tento případ nastal.

Graf 22- Chod teplot vzduchu (Šindelová) a srážek (Přebuz) v období od 10. 3. do 14. 3. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK a ČHMÚ



Pro průtok byla zpracována hysterézní křivka EC-Q, která je označena jako Graf 23. Můžeme pozorovat, že jde o tvar hysterézní křivky typu 3, kdy procentuální podíl konduktivity začíná na 100 %, zatímco průtoku naopak na 0 %. Na křivce můžeme vidět zajímavé místo, kde se láme ve spodní části, jelikož došlo k opakované kulminaci průtoku, ale vzhledem k rychlosti opětovného zvýšení průtoku na tuto událost nestihla konduktivita zareagovat.

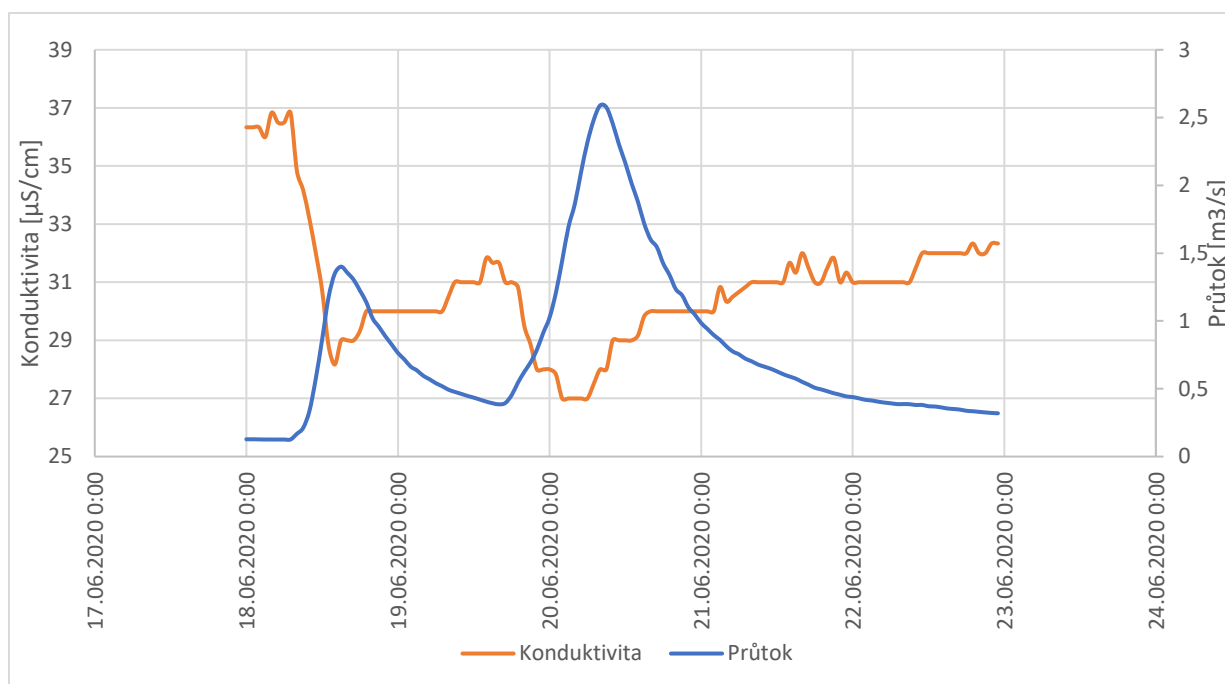


Graf 23 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 10. 3. do 14. 3. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

5.3.4. Období od 18. do 23. 6. 2020

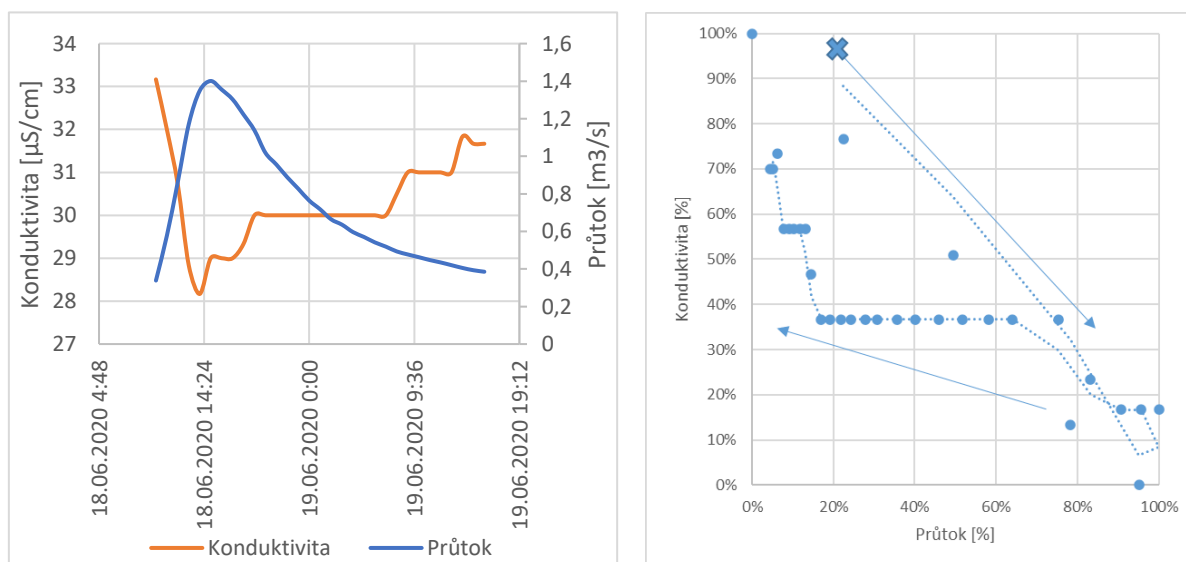
Během hydrologického roku 2019 nastalo další zajímavé období z hlediska vyšších průtoků od 18. 6. do 23. 6. 2020, kdy nastaly dvě kulminace za sebou, první 18. 6. večer následovaná poklesem průtoků na téměř běžné průtoky pro Slatinný potok a poté strmé zvýšení hodnot průtoků až do kulminace s průtokem 2,58 m³/s 20. 6. 2020 v 9:00. Tyto průtoky byly reakcí na vysoké úhrny srážek, které nastaly 18. 6. 2020 (20 mm) a 19. 6. 2020 (35 mm). Teploty se během celého sledovaného období pohybovaly okolo 11 °C a nevykazovaly žádný zajímavý trend. Hydrogram pro toto období je zobrazen v Grafu 24, kde je zároveň zaznamenán i chod konduktivity.

Konduktivita reagovala během tohoto období na průtok poměrně razantně, zajímavé je, že mezi dvěma kulminacemi průtoku se stihla hodnota konduktivity opět zvýšit, což není na Slatinném potoce při opakovaných kulminacích brzy za sebou příliš typické. Minima konduktivity dosáhla 20. 6. (27 μS/cm), přibližně tři hodiny před kulminací průtoku. Maximum konduktivity bylo naměřeno na začátku období před zvýšením průtoků (37 μS/cm). Na původní hodnotu před vyššími průtoky se během celého období konduktivita nevrátila, opětovný nárůst na hodnotu 37 μS/cm nastal až 29. 6. 2020.



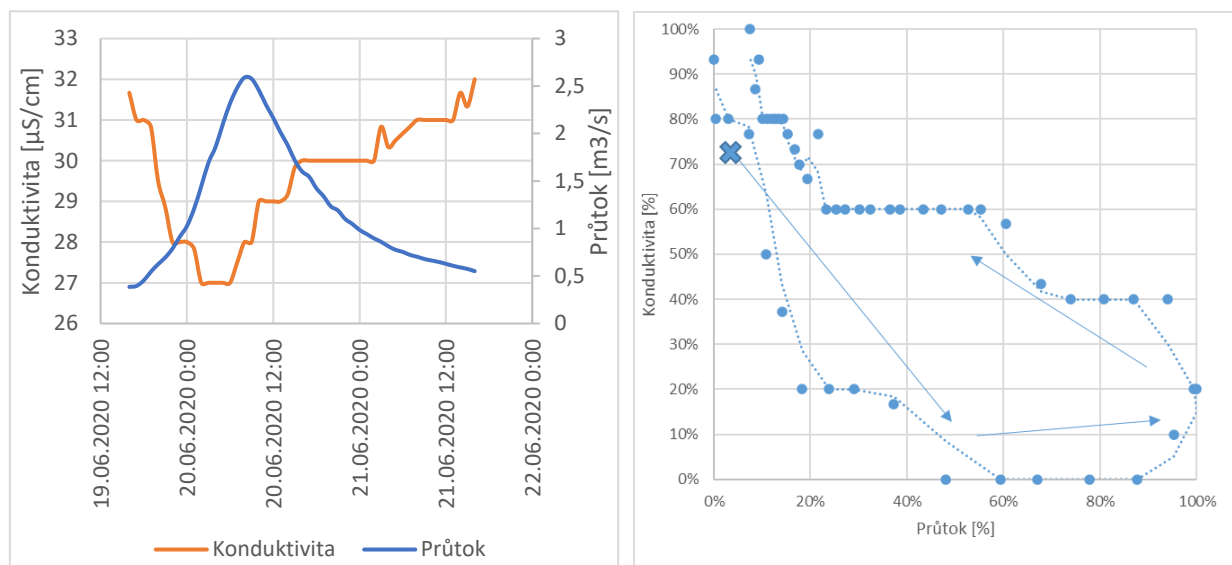
Graf 24 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 18. 6. do 23. 6. 2020 na profilu SLA2, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Vztah konduktivity a průtoku byl zkoumán pomocí hysterézních smyček. Pro toto období byly vytvořeny dvě hysterézní smyčky pro jednotlivé kulminace, jelikož konduktivita na ně reagovala odděleně. U prvního, nižšího, nárůstu průtoků došlo k tvaru hysterézní smyčky typu 1. Smyčka je zobrazena v Grafu 25.



Graf 25 – Chod průtoku a konduktivity a hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 18. 6. do 19. 6. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Druhá, vyšší kulminace je zobrazena v Grafu 26, odpovídající hysterézní křivka pro vztah konduktivity a průtoku je také v Grafu 26. Křivka spadá do typu hysterézních křivek 3, kdy sledujeme průběh průtoku od minima k minimu, zatímco konduktivita jde od maxima k maximu.



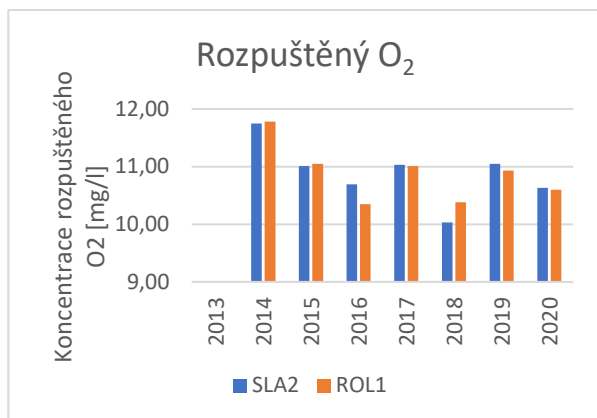
Graf 26 – Chod průtoku a konduktivity a hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 19. 6. do 21. 6. 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Zajímavé je zejména to, jak dvě po sobě jdoucí kulminace ovlivnily změnu vztahu konduktivity a průtoku. První zvýšení průtoků výrazně ovlivnilo zvýšení druhé. Proto byla u druhé epizody konduktivita nižší již na začátku a to ovlivnilo její chování. Zároveň povodňová vlna při druhé kulminaci nastoupila pomaleji a tím pádem se jinak chovala i konduktivita.

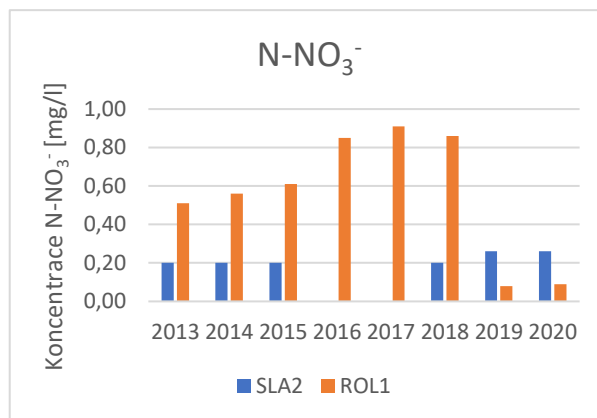
5.4. Vývoj parametrů kvality vody u profilů SLA2 a ROL1

Následující kapitola se věnuje analýze vývoje některých ukazatelů kvality vody u profilů SLA2 a ROL1 mezi lety 2013 a 2020. Vzhledem k tomu, že nebyla dostupná kontinuální data, není možné analyzovat jejich průběžný vývoj. Konduktivitě již byla věnována pozornost v předchozích kapitolách, takže v této již není zmiňována.

Prvním zkoumaným parametrem byl rozpuštěný kyslík, jehož vývoj v průběhu let na obou profilech je zaznamenán v Grafu 27. Průměrné roční hodnoty rozpuštěného O₂ relativně kolísaly. Pro rok 2013 bohužel nebyla data pro tento rok dostupná. Nejvyšších průměrných ročních hodnot tento ukazatel dosahuje na obou profilech v roce 2014. Naopak nejnižší průměrné roční hodnoty nastávají v roce 2018.

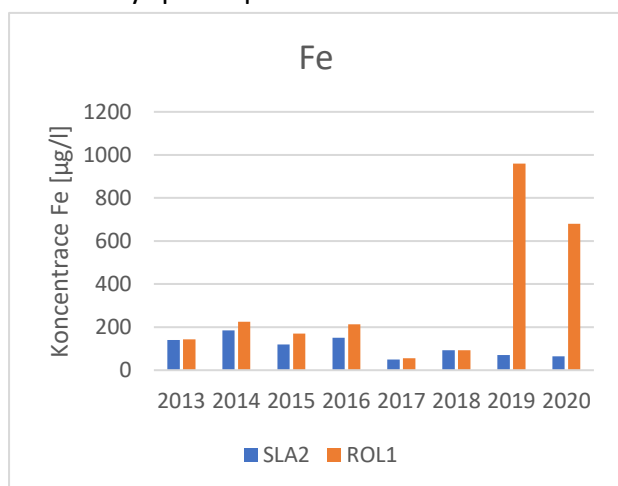


Graf 27 – Průměrné hodnoty rozp. O₂ pro jednotlivé roky, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

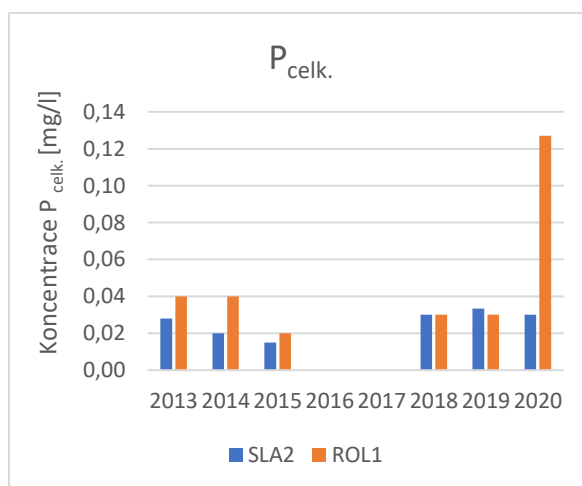


Graf 28 – Průměrné hodnoty N-NO₃⁻ pro jednotlivé roky, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Dále byl zkoumán dusičnanový dusík N-NO₃⁻. Bohužel na profilu SLA2 nebyly dostupné hodnoty pro roky 2016 a 2017. Chod průměrných ročních hodnot N-NO₃⁻ je zobrazen na Grafu 28. Do roku 2018 byly koncentrace N-NO₃⁻ vyšší na profilu ROL1, zatímco profil SLA2 má podobnou koncentraci během celého sledovaného období. Naopak v posledních dvou letech byly naměřené hodnoty N-NO₃⁻ na profilu ROL1 velmi nízké. Nejvyšších hodnot N-NO₃⁻ dosáhlo na profilu ROL1 dne 19. 6. 2016 (1,958 mg/l). Koncentrace N-NO₃⁻ ale nejsou k analýze vhodné, jelikož v roce 2019 se změnil způsob analýzy vzorků v laboratoři a hodnoty do tohoto data nemusí být příliš spolehlivé.



Graf 29 – Průměrné hodnoty Fe pro jednotlivé roky, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

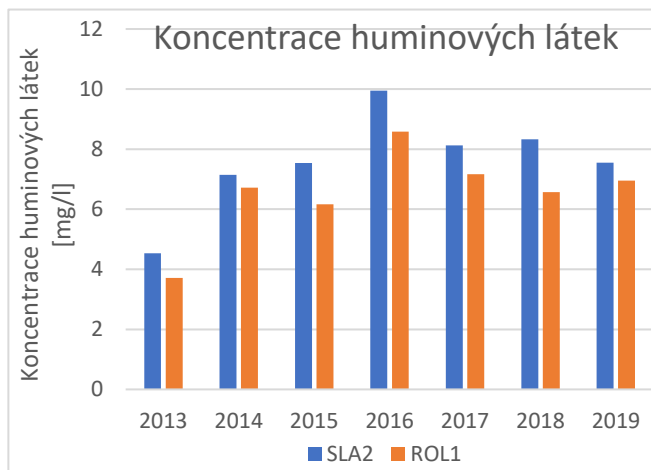


Graf 30 – Průměrné hodnoty P_{celk.} pro jednotlivé roky, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Dále byly zkoumány koncentrace železa v obou tocích, které se na Slatinném potoce držely po celou dobu pozorování na nízkých hodnotách. Rolava tento trend relativně kopírovala, ale s rokem 2019 došlo k prudkému nárůstu koncentrací, který se opakoval i v roce 2020. Nejvyšších průměrných ročních hodnot dosáhla koncentrace železa v roce 2019 (960 µg/l) na

profilu ROL1, zatímco na SLA2 došlo v posledních letech spíše k poklesu hodnot koncentrací železa. Vývoj chodu koncentrací železa je zobrazen v Grafu 29.

Zajímavé trendy vykazuje také koncentrace celkového fosforu, pro kterou ale bohužel nemáme měření z let 2016 a 2017. V roce 2020 došlo k významnému nárůstu koncentrací fosforu na profilu ROL 1 (0,13 mg/l). Na Slatinném potoce se naopak po celou dobu objevují velmi nízké, téměř zanedbatelné koncentrace celkového fosforu s minimem v roce 2014 (0,02 mg/l). Chod koncentrací celkového fosforu je zaznamenán v Grafu 30.



Graf 31 – Průměrné hodnoty huminových látek pro jednotlivé roky, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

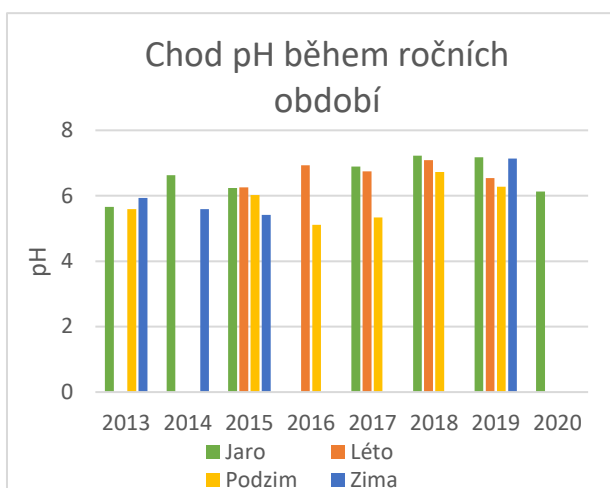
Zajímavé je také chování huminových látek, jejichž koncentrace se v povodí Rolavy měří proto, že zde dochází k častějšímu odtoku z rašelinit a tím pádem k zvýšeným koncentracím huminových látek. Vyšší koncentrace se stabilně objevují u Slatinného potoka, což

může být zapříčiněno množstvím rašelinišť v povodí. Koncentrace huminových látek v jednotlivých letech můžeme vidět na Grafu 31. Ve všech letech došlo k vyšší koncentraci huminových látek na Slatinném potoce než na Rolavě. Nejvyšších hodnot tato koncentrace dosáhla u obou toků v roce 2016, kdy došlo k maximální koncentraci z celého pozorovaného období na profilu SLA2 (9,95 mg/l).

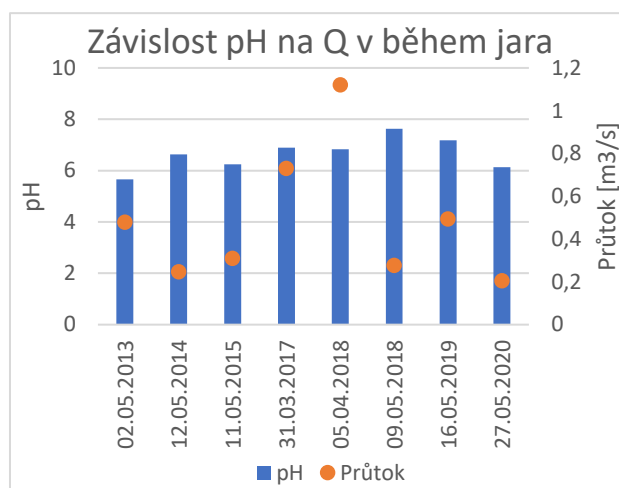
5.5. Změny geochemismu v závislosti na ročním období a průtoku

Tato kapitola se zabývá změnami koncentrací jednotlivých ukazatelů kvality povrchových vod v závislosti na ročním období a průtocích.

Chod pH během ročních období v jednotlivých letech je zobrazen v Grafu 32. Závislost pH na ročním období není jasně identifikovatelná, přestože nižší pH se objevuje zejména na podzim, zatímco, zejména v posledních letech byly vyšší hodnoty naměřeny spíše na jaře. Zajímavá je závislost pH na průtoku během jednotlivých ročních období. Vliv na jaře můžeme pozorovat v Grafu 33. Během všech měření, která byla v průběhu jara vyhotovena se hodnoty pH pohybovaly přibližně mezi 6 a 8 a neobjevovaly se žádné výraznější výkyvy. Nejnižší hodnota pH se objevila na profilu ROL1 během měření 11. 5. 2015, kdy bylo naměřeno pH 5,15. Nejvyšší hodnota nastala 5. 4. 2018 (pH = 7,63). Maximální i minimální hodnota pH tedy nastala během jarního období a nezdá se tak, že by pH bylo nějak výrazně ovlivněno chodem ročních období. Vliv na něj bude mít spíše koncentrace huminových kyselin.

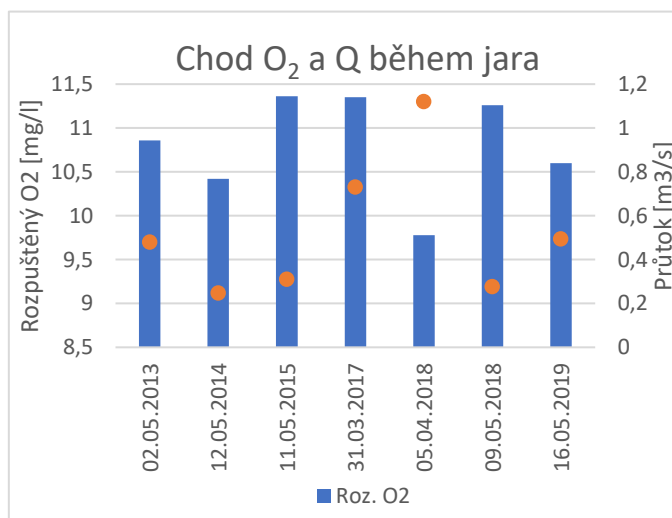


Graf 32 – Chod pH během ročních období, Zdroj dat: KFGG PŘF UK



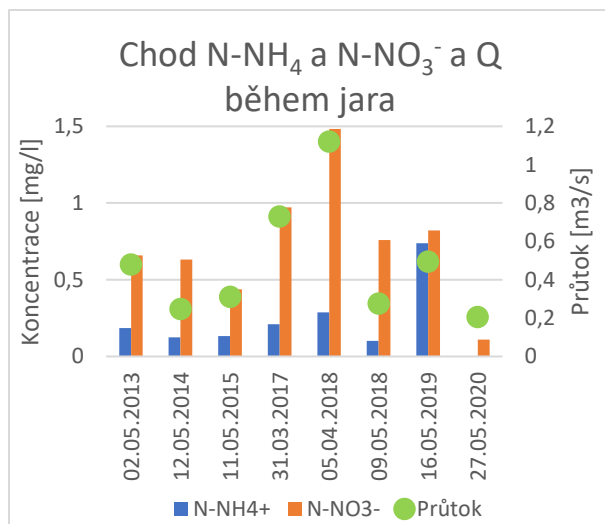
Graf 33 – Závislost pH na průtoku během jara, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

K naměření nejnížší hodnoty rozpuštěného O_2 došlo na Slatinném potoce 9. 8. 2018 (9,15 mg/l), kdy se nejnížší hodnoty objevily i na profilu ROL1 (9,24 mg/l). Nízké hodnoty byly na obou potocích naměřeny ještě 13. 8. 2019 (~ 9,55 mg/l) a 19. 6. 2016 (~ 9,75 mg/l). V těchto datech byly na profilu ROL1 naměřeny velmi různorodé průtoky s nejnížším 0,129 m³/s a nejvyšším 0,364 m³/s. Oba tyto průtoky jsou spíše suché, nižší z nich dokonce nepřesahuje prahovou hodnotu Q_{330} . (9. 8. 2018 – 0,129 m³/s, 13. 8. 2019 – 0,1450 m³/s, 19.6.2016 – 0,364 m³/s). Extrémně vysoká hodnota rozpuštěného O_2 se objevila 23. 2. 2014 (12,70 mg/l) na profilu ROL1, ale i na profilu SLA2 dosahovala vysokých hodnot. Průtok v tento den byl vyšší, ale ne nijak extrémní (0,314 m³/s). Hodnoty rozpuštěného kyslíku tak mohly být ovlivněny také teplotou vzduchu.

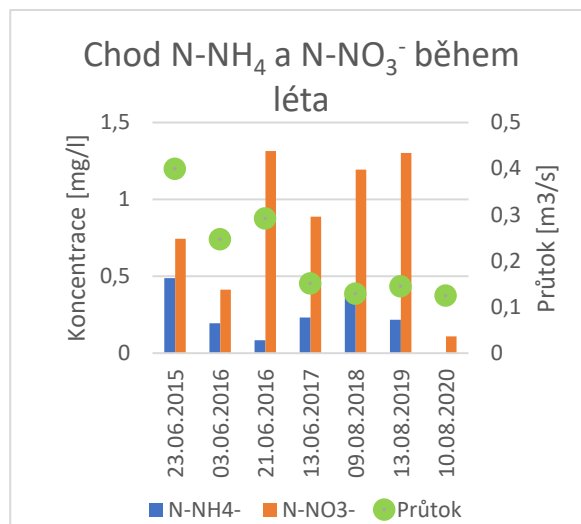


Graf 34 – Chod rozp. O_2 během jara, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Závislost $N-NH_4$ a $N-NO_3^-$ na průtoku během léta a jara je zobrazena na Grafu 35 a na Grafu 6.



Graf 35 – Chod N-NH₄ a N-NO₃⁻ během jara,
Zdroj dat: KFGG PŘF UK



Graf 36 – Chod N-NH₄ a N-NO₃⁻ během léta,
Zdroj dat: KFGG PŘF UK

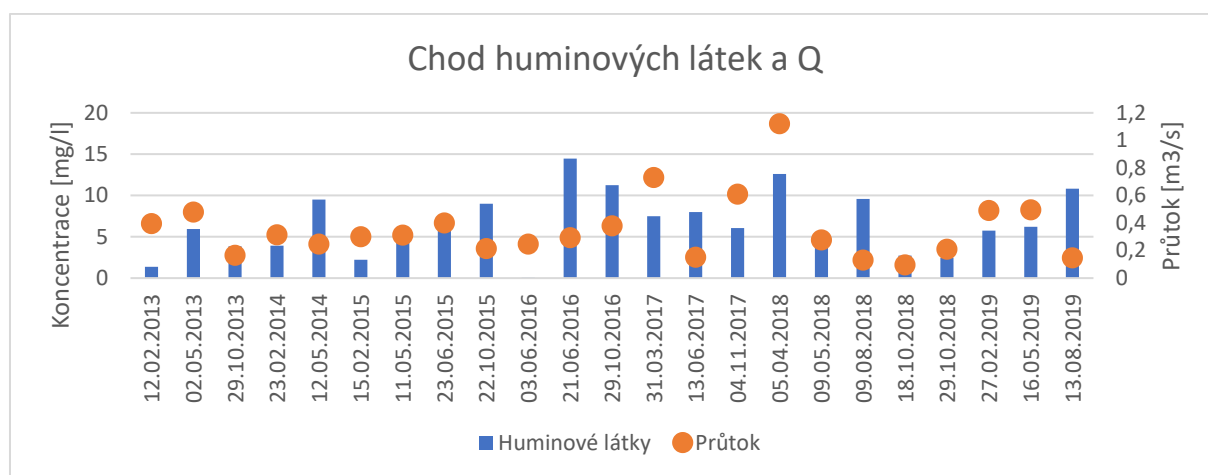
Nejvyšší koncentrace N-NH₄ se na Rolavě objevily 16. 5. 2019 (0,738 mg/l), kdy nastaly i vyšší průtoky okolo 0,494 m³/s. Pravděpodobně byl tedy amoniakální dusík vyplaven z podloží. Vyšší hodnoty nastaly také 23. 6. 2015 (0,489 mg/l) a 4. 11. 2017 (0,528 mg/l). V těchto dnech pozorujeme také vyšší průtoky, nelze ale považovat závislost N-NH₄⁺ a průtoku za jasně danou, jelikož během některých měření při vyšších průtocích nedošlo k naměření zvýšených koncentrací amoniakálního dusíku. Tento vztah může být ovlivněn také stavem rašelinišť před odběrem vzorku. Toho je příkladem den 2. 5. 2013, kdy došlo k průtoku 0,479 m³/s, ale hodnoty N-NH₄ byly změřeny na 0,186 mg/l.

Dusičnanový dusík může být zajímavým ukazatelem, jehož vyšší koncentrace mohou udávat zejména antropogenní ovlivnění povodí, které v případě Rolavy není příliš výrazné. Naměřené hodnoty N-NO₃⁻ na Rolavě jsou problematické z toho důvodu, že uprostřed období byla změněna metoda analýzy vzorků a od té doby byly nalézány řádově odlišné hodnoty. Více je tento problém popsán v kapitole Metody a data. Proto nelze považovat výsledky analýz dusičnanového dusíku za spolehlivé. Nejvyšší hodnoty dosáhl dusičnanový dusík 21. 6. 2016 (1,314 mg/l) při středních průtocích (0,292 m³/s). Vyšší koncentrace byly pozorovány také při dalších letních měřeních, zejména 13. 8. 2019 (1,194 m³/s) a 9. 8. 2018 (1,194 m³/s). Naopak nízké koncentrace byly pozorovány zejména na podzim a také na konci pozorovaného období, kdy došlo ke změně metody použité pro analýzu dat.

Dále byly analyzovány koncentrace celkového fosforu. Bohužel mezi lety 2016 a 2018 chybí data, protože vzorky nemohly být v laboratoři analyzovány, takže máme dostupná data jen z přechodných a následujících let. Během všech uskutečněných měření ale byly hodnoty celkového fosforu velmi nízké, až zanedbatelné, většinou menší než 0,4 mg/l. K výraznějším

koncentracím došlo 23. 2. 2014, kdy se při průtoku 0,314 m³/s objevila koncentrace 0,05 mg/l. Několikanásobně vyšší koncentrace se objevily také 10. 8. 2020, kdy byla naměřena hodnota 0,224 mg/l při relativně nízkém průtoku 0,125 m³/s.

Naměřené koncentrace huminových látek jsou zobrazeny v Grafu 37. Nejvyšší koncentrace huminových látek nastaly 21. 6. 2016, kdy byla naměřena hodnota 14,45 mg/l při běžném průtoku 0,292 m³/s. Naopak nejnižší hodnota byla naměřena 3. 6. 2016 o hodnotě 0,07 mg/l. Tato hodnota je tak nízká, že pochybuji o její věrohodnosti. Průtokové, srážkové ani teplotní poměry před touto koncentrací nenaznačují žádné výchyly, které by takto nízkou koncentraci mohly způsobit.



Graf 37 – Chod huminových látek a průtoku, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Koncentrace železa byly po celé sledované období velmi nízké a relativně stabilní. Výrazně vyšší hodnota nastala 10. 8. 2020, kdy se objevila koncentrace 1,13 µg/l při nižším průtoku 0,125 m³/s. Další vyšší hodnoty byly naměřeny 27. 5. 2020 (0,652 µg/l) při průtoku 0,205 m³/s. Třetí nejvyšší hodnota nastala v tom samém roce 25. 11. 2020 (0,629 µg/l). Obecně lze považovat rok 2020 za rok s nejvyššími koncentrací železa, což ale pravděpodobně nebylo zapříčiněno průtokem, jelikož vyšší hodnoty železa byly naměřeny během vyšších i nižších období. Nejnižší hodnota koncentrací železa byla naměřena 3. 6. 2016 (0,02 µg/l) při průtoku 0,247 m³/s.

5.3. Hodnocení jakosti vody

Na základě dat KFGG PŘF UK bylo provedeno orientační zařazení některých vybraných ukazatelů vody do jakostních tabulek pro profily ROL1 a SLA2 na tomto párovém povodí. Jednotlivé ukazatele byly do jakostních tabulek zařazeny podle jakostní normy ČSN 757221 z roku 2017. Hodnocení bylo provedeno na obou profilech pro jednotlivé roky, od roku 2013 do roku 2020. Do tříd jakosti byly zařazovány následující ukazatele – konduktivita, rozpuštěný kyslík, dusičnanový dusík (N-NO₃⁻), celkový fosfor a koncentrace železa. U obou profilů

dopadlo zařazování velmi dobře a ve většině případů byly všechny ukazatele zařazeny do I. jakostní třídy – neznečištěná voda.

Hodnoty pro jednotlivé ukazatele v jednotlivých rocích pro profil ROL1 na řece Rolavě jsou zobrazeny v Tabulce 9. U prvních tří ukazatelů můžeme vidět, že se ve všech letech držely v mezích I. jakostní třídy. Jako nejstabilnější se jeví rozpuštěný kyslík, jehož hodnoty se v průběhu let pohybují stále okolo stejné hodnoty (10 – 11 mg/l). Konduktivita a dusičnanový dusík kolísají o něco více, nárůst konduktivity je patrný zejména v letech 2014, 2015 a 2017, v ostatních letech se dosahuje velmi nízkých hodnot. Koncentrace celkového fosforu se pohybovala většinu let na horní hranici I. jakostní třídy. Trend zhoršení můžeme sledovat u koncentrací železa, které prudce narůstají v roce 2019, kdy téměř dosahují III. jakostní třídy – znečištěná voda. Vyšší koncentrace setrvávají i v roce 2020. Koncentrace železa pro roky 2019 i 2020 byly tedy zařazeny do II. jakostní třídy – mírně znečištěné vody.

Profil ROL1	Jednotky	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Konduktivita	mS/m	4,00	12,39	8,90	5,71	8,88	3,16	2,92	2,68
Roz. O ₂	mg/l		11,78	11,05	10,35	11,01	10,38	10,93	10,60
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,51	0,56	0,61	0,85	0,91	0,86	0,08	0,09
P _{celk.}	mg/l	0,04	0,04	0,02			0,03	0,03	0,03
Fe	µg/l	143	225	170	213	56	92	960	680

Třídy jakosti I II III IV V

Tabulka 9 – Orientační zařazení do tříd jakosti vod pro profil ROL1 pro roky 2013 – 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

Zařazení do jakostních tříd pro profil SLA2 na Slatinném potoce, těsně před soutokem s Rolavou je zpracováno v Tabulce 10. Můžeme vidět, že kvalita vody v profilu SLA2 byla v celém období 2013 – 2020 vysoká a žádný parametr v žádném roce neopustil I. jakostní třídu – neznečištěná voda. Přesto jsou zde patrné změny některých parametrů. Jako například postupný pokles koncentrací železa v průběhu let. Konduktivita zde, na rozdíl od profilu ROL1, příliš nekolísá a její hodnoty jsou stále nízké, stejně jako koncentrace dusičnanového dusíku a celkového fosforu.

Profil SLA2	Jednotky	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Konduktivita	mS/m	3,74	4,92	6,71	4,60	4,03	4,12	3,74	3,67
Roz. O ₂	mg/l		11,75	11,01	10,69	11,03	10,03	11,05	10,63
N-NO ₃ ⁻	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2			<0,2	0,26	0,26
P _{celk.}	mg/l	0,03	0,02	0,02			0,03	0,03	0,03
Fe	µg/l	140	185	120	150	50	92	70	65

Třídy jakosti 

Tabulka 10 – Orientační zařazení do tříd jakosti vod pro profil SLA2 pro roky 2013 – 2020, Zdroj dat: KFGG PŘF UK

6 Diskuze

Analýza srážko-odtokových poměrů pro zkoumané období během hydrologických let 2018, 2019 a 2020 prokázala, že na profilu SLA2 byl nejsušším rokem hydrologický rok 2020, kdy největší množství průměrných denních průtoků nepřekročilo prahové hodnoty Q_{355} , Q_{330} a Q_{90} . Rolava se chovala jinak a přestože rok 2020 byl také suchý, rozdíly oproti ostatním rokům nebyly na tomto toku tak výrazné.

Díky analýzám je očividné, že během sledovaného období ovlivňovaly srážko-odtokové události poměrně výrazně geochemismus toků v párovém povodí Rolavy a Slatinného potoka. U některých ukazatelů kvality vody byl prokázán výraznější vztah průtoků a daného parametru než u jiných.

Silná závislost byla prokázána zejména u konduktivity, která téměř ve všech případech reagovala na průtok velmi těsně i při menších průtokových změnách. Během nejsušších období dosahovala konduktivita rekordních hodnot, zatímco při zvyšujících se průtocích jednoznačně klesala. Potvrzeny byly výsledky Zuecca et. al (2018), že k největšímu poklesu konduktivity dochází ihned po nástupu srážkových událostí, mnohdy ještě před kulminací průtoků.

Závislost mezi konduktivitou a průtokem během výraznějších průtoků na Slatinném potoce byla sledována také pomocí konstrukce hysterézních smyček EC-Q. V rámci práce je zobrazeno 13 smyček pro různá období s výrazným výkyvem průtoků, které se poté vrací na původní hodnotu. Ukázalo se, že na profilu SLA2 konduktivita reaguje na prudké zvýšení průtoků téměř výhradně poklesem hodnot, ale ne vždy byla rychlost a intenzita reakce stejná. Nejčastěji se objevovaly křivky typu 1 a typu 3, zatímco křivky typu 2 a 6 se objevovaly také, ale mnohem méně často.

Z hysterézních smyček v této práci i těch přiložených v příloze (Příloha 1 – 8) plyne, že křivka typu 1 (po směru hodinových ručiček) je typická pro epizody, kdy hodnoty konduktivity začnou klesat až krátce po kulminaci průtoků. Naopak v případě, že dochází k minimu konduktivity chvíli před kulminací objevuje se typ smyčky 3 (proti směru hodinových ručiček). Tvar smyčky ovlivňuje také to, jestli se konduktivita před aktuální epizodou stačila vrátit na svou původní úroveň po předchozí epizodě.

V případě, že nastalo velmi prudké zvýšení průtoků, a tím pádem i rychlé snížení konduktivity, objevoval se i typ smyčky 6 (osmičkový). Sporadicky se objevovala i závislost, která vytvořila křivku o tvaru typu 2 a to zejména v případě, kdy konduktivita začala po epizodě opět klesat až poté, co již dosáhla 100 % hodnoty.

Vývoj konduktivity obecně během jednotlivých epizod byl velmi silně ovlivněn tím, co epizodě předcházelo a jakých hodnot konduktivita dosahovala před ní. Prekondice povodí se ukázala

být zcela klíčová pro chování konduktivity během události s výraznými průtoky. Větší vliv na chování konduktivity měla také délka epizody, zatímco velikost samotného průtoku nebyla tak určující. Klíčovost prekondice povodí byla potvrzena ne výzkumech v pramenných oblastech v Alpách při výzkumech Cano-Paoliniho a kolektivu (2019).

Hodnoty pH neprokázaly jasnou sezónnost ani závislost na průtoku, jakou prokázala například Kočárková (2016). Nižší hodnoty pH se objevovaly spíše na podzim, zatímco vyšší hodnoty byly typické pro jarní měsíce. Hodnoty pH bývají také výrazně ovlivněny koncentracemi huminových látek, které způsobují okyselení toku.

Dále byly analyzovány koncentrace dusičnanového dusíku, u kterých je obvyklý velmi sezónní chod v závislosti na odčerpávání dusičnanů z půdy za pomoci rostlin během vegetačního období (Langhammer 2009). Na párovém povodí Rolavy a Slatinného potoka v posledních letech nebyla prokázána silná závislost koncentrací N-NO_3^- na sezóně, kterou potvrdili například Deininger et al. (2020) na norských řekách. Pravděpodobně tomu tak není, jelikož jde o pramennou oblast, kde není v povodí mnoho zemědělských pozemků, které jsou po plošném splachu hlavním důvodem pro vyšší koncentrace dusičnanového dusíku v tocích. Analýza dusičnanového dusíku byla také velmi ovlivněna změnami v metodologii analýzy vzorků v laboratoři. V některých pramenných oblastech byla prokázána vyšší koncentrace dusičnanového dusíku během jarního tání (Soulsby et. al 2001), která nebyla na Rolavě pozorována.

Analýza koncentrací celkového fosforu byla ovlivněna výpadky v datech v letech 2016 a 2017 a nebyly zde nalezeny žádné neočekávatelné výrazné koncentrace. Dále byly sledovány také huminové látky, jejichž koncentrace se výrazně lišily zejména na dvou sledovaných profilech. Vyšší koncentrace huminových látek byly naměřeny vždy na Slatinném potoce, což může být dáno obsahem rašelinišť v povodí.

Stejně jako u ostatních parametrů i koncentrace železa byly velmi nízké během celého měřeného období. Vyšší koncentrace železa byly často naměřeny při nadprůměrných průtocích, což potvrzuje výsledky výzkumu Fashchevskaya (2017), který byl také proveden v pramenných oblastech toků.

Na párovém povodí Rolavy a Slatinného potoka byly celkově naměřeny velmi nízké hodnoty koncentrací všech ukazatelů kvality vody a jedná se tak o tok s výbornou jakostí vody, který by byl podle normy ČSN 757221 téměř vždy hodnocen jako I. jakostní třída. Jedinou výjimku tvořily koncentrace železa na profilu ROL1, podle kterých by byl tok zařazen do II. jakostní třídy. Hodnoceny ale nebyly ukazatele CHSK a DOC/TOC.

V datech použitých v bakalářské práci se mohly vyskytovat chyby. U některých parametrů totiž došlo ke změně analytické metody během let, což je potřeba vzít v potaz při případných dalších analýzách dat.

7 Závěr

Tato práce se zabývala analýzou změn koncentrací vybraných parametrů kvality vody při extrémních srážko-odtokových událostech. Hlavním cílem byla analýza vztahu průtoku a konduktivity během těchto období na párovém povodí Rolavy a Slatinného potoka. Kromě konduktivity byly také hodnoceny další vybrané ukazatele jakosti povrchových vod pH, rozpuštěný O_2 , $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, $P_{celk.}$, huminové látky a koncentrace Fe.

Pro profil SLA2 byla potvrzena závislost konduktivity na průtoku jak v průběhu suchých období, tak během těch s výraznějšími průtoky. Využití konstrukce hysterézních smyček pro vztah průtoku a konduktivity je určitě možné, ale projevilo se jako vhodné spíše pro události s nadprůměrnými průtoky, kdy se průtok na konci období vrátí na stejnou hodnotu, na které byl na počátku. Vyšší hodnoty konduktivity byly naměřeny zejména během výrazně suchých období, zatímco při nástupu vyšších průtoků docházelo k rychlému poklesu konduktivity, který se ale často lišil tím, kdy nastala nejnižší hodnota konduktivity vůči kulminaci průtoku.

I u některých ostatních ukazatelů byla pozorována závislost mezi průtokem a tímto ukazatelem. Závislost na průtoku byla pozorována například u koncentrací železa, které se se zvyšujícím se průtokem zvyšovaly. Koncentrace některých ukazatelů byly také ovlivněny rašeliništi v povodí a dalšími vlivy.

Kvalita vody na obou tocích je ale hodnocena velmi pozitivně, téměř u všech ukazatelů dosáhly oba potoky nejlepší jakostní třídy podle normy ČSN 75 7221. Horší hodnoty byly naměřeny pouze u koncentrací železa na profilu ROL1 v posledních dvou letech pozorovaného období (roky 2019 a 2020).

Kromě dalších měření parametrů udávajících kvalitu vody v dalších letech by mohla být věnována další pozornost využití hysterézních křivek v geochemismu vod. Mohly by pomoci být modelovány koncentrace dalších kationtů a aniontů a průtoku, čímž by se mohla vytvořit širší představa ohledně reakce povodí v pramenných oblastech na extrémní průtoky. K tomu by ale bylo potřeba mnohem rozsáhlejší množství dat, než jaká jsou v současné době pro tyto profily dostupná. Nutná by v takovém případě byla automatická měrná stanice na tocích. Do budoucna by tedy bylo možné i uvažovat o aplikaci hysterézních křivek na jiné toky v ČR, které jsou vybaveny automatickými měřicími přístroji a máme z nich tak dostupná podrobnější data.

Seznam literatury

- ALNAHIT, A.O., MISHRA, A.K., KHAN, A.A. (2020): Quantifying climate, streamflow, and watershed control on water quality across Southeastern US watersheds. *Science of the Total Environment*, 739.
- AUDET, J., ZAK, D., BIDSTRUP, J., HOFFMANN, C.CH. (2020): Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio*, 49, 1, 324 – 336.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z., WU, S., PALUTIKOF, J. (2008): Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 s.
- BERANOVÁ, Z. (2011): Průzkum a hodnocení ekologického stavu vodních toků při zohlednění evropských standardů. Aplikace v modelovém povodí Rolavy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 145 s.
- BJARNADOTTIR, B., SUNGUR, G. A., SIGURDSSON, B.D., KJARTANSSON, B., OSKARSSON, H., ODDSDOTTIR, E.S., GUNNARSDOTTIR, G.E., BLACK, A. (2021): Carbon and water balance of an afforested shallow drained peatland in Iceland. *Forest ecology and management*, 482.
- BOL, R. et al. (2018): Challenges of Reducing Phosphorus Based Water Eutrophication in the Agricultural Landscapes of Northwest Europe. *Frontiers in Marine Science*, 5, 276, 1– 16.
- BURIÁNEK, V. (2012): Charakteristika širšího území. Výzkumná zpráva, Výzkum možností minimalizace obsahů organických škodlivin ve zdrojích pitných vod v Krušných horách. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Praha, 10 s.
- CANO-PAOLI, K., CHIOGNA, G., BELLIN, A. (2019): Convenient use of eletrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters. *Science of total environment*, 685, 37 – 49.
- DEININGER, A., KASTE, O., FRIGSTAD, H., AUSTNES, K. (2020): Organic nitrogen steadily increasing in Norwegian rivers draining to the Skagerrak coast. *Scientific Reports*, 10, 1.
- DEMEK, J., MACKOVČIN P. et al. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. MŽP ČR. 580 s.
- DOHNAL, Z. (1965): Československá rašeliniště a slatiniště. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- DOLEŽAL, T., VLČEK, L., KOCUM, J., JÁNSKÝ B. (2020): Hydrological regime and physico-chemical water properties of various types of peat bog sites: case study of Mezilesnípeat bog, Šumava Mts. *Geografie*, 125, 1, 21- 46.

DORGE, J. (1994): Modelling nitrogen transformations in freshwater wetlands. Estimating nitrogen retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings. *Ecological Model*, 75 – 76, 409 – 420.

FASHCHEVSKAYA, T., MOTOVILOV, Y., SHADIYANOVA, N. (2017): Natural and anthropogenic variations of the concentrations of iron, copper and zinc in water streams in Republic of Bashkortostan. *Water resources*, 45, 6, 873 – 886.

FRAINDOVÁ, K. (2021): osobní a emailové konzultace.

GORHAM, E. (1991): Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1, 2, 182 – 195.

GRMELA, J., KOPP, R. (2011): Water quality of selected tributaries of the river Svatka under the Víř Dam. *Mendel University in Brno, Brno*, 349 – 356.

GUPTA, D., RANJAN, R.K., PARTHASARATHY, P., ANSARI, A. (2021): Spatial and seasonal variability in the water chemistry of Kabar Tal wetland (Ramsar site), Bihar, India: multivariate statistical techniques and GIS approach. *Water Science and Technology*.

HOUGHTON, J. T., MEIRA FILHO, L. G., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTANBERG, A. and MASKELL, K. (1995): *The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.

HRUŠKA, J. MAJER, V., FOTTOVÁ, D. (2006): Vliv kyselá depozice na chemismus povrchových vod v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 43, 95–110.

CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M., GRULICH, V., LUSTYK P. (2010): Katalog biotopů České republiky. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky*, 447 s.

JUTRAS, M.-F., NASR, M., CASTONGUAY, M., PIT, CH., POMEROY, J.H., SMITH, T.P., ZHANG, CH., RITCHIE, CH.D., MENG, F.-R., CLAIR, T.A., ARP, P.A. (2011): Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in forest catchments and streams: DOC-3 model. *Ecological Modelling*, 222, 2291-2313.

KARJALAINEN, S. M., HEIKKINEN, K., IHRNE, R., KLOVE, B. (2016): Long term purification efficiency of a wetland constructed to treat runoff from peat extraction. *Journal of Environmental Science and Health Part A-toxic/Hazardous substances and environmental engineering*. 51, 5, 393 – 402.

KNORR, K., H. (2013): DOC – dynamics in a small headwater catchment as driven by redox fluctuations and hydrological flow paths – Are DOC exports mediated by iron reductino/ixidation cycles?. *Biogeosciences*, 10, 891 – 904.

KOCUM, J., OULEHLE, F., JÁNSKÝ, B., BŮZEK, F., HRUŠKA, J., VLČEK, L. (2016): Geochemical evidence for peat bog contribution to the stream flow generation process: case study of Vltava River headwaters, Czech Republic. *Hydrological Sciences Journal*, 61, 14, 2579 – 2589.

KOČÁRKOVÁ, T. (2016): Změny biochemismu v pramenných oblastech. Aplikace v experimentálním povodí horní Rolavy. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 76 s.

KULASOVÁ, A., Blažková, Š., Bubeníčková, L., Hlaváček, J., Ruprecht, D. (2008): Porovnání kvality v experimentálním povodí Uhlířská. In: Šír, M., Tesař, M., Lichner, L. (2008): *Hydrologie malého povodí 2008*. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Praha, s. 169-174.

KRATOCHVÍLOVÁ, P. (2012): Změny krajinného pokryvu v Krušných horách a jejich možný vliv na srážko-odtokový proces. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 56 s.

KYSELÝ, J. (2009): Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961– 2005. *International Journal of Climatology*, 29(12), 1745-1758.

LANGHAMMER, J. (2002): Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Skripta. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, 225 s.

LINTERN, A. WEBB, J.A., RYU, D., LIU, S., WATERS, D., LEAHY, P., BENDE-MICHL, U., WESTERN, A.W. (2018): What Are the Key Catchment Characteristics Affecting Spatial Differences in Riverine Water Quality? *Water Resources Research*, 54, 10, 7252 – 7272.

ŁUPIKASZA, E. B., HAENSEL, S., MATSCHULLAT, J. (2011): Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951–2006. *International Journal of Climatology*, 31(15), 2249-2271.

MACURA, V., ŠTEFUNKOVÁ, Z., ŠKRINÁR, A. (2016): Determination of the Effect of Water Depth and Flow Velocity on the Quality of an In-Stream Habitat in Terms of Climate Change. *Advances in Meteorology*. 17 s.

MATĚJKA, K. (2017): Porovnání přírodních podmínek a stavu lesů na Šumavě a v Krušných horách. Dostupné z: https://www.infodatasys.cz/public/Lesnik21_2017km.pdf

MATĚJŮ, J. (2012): Národní přírodní rezervace Rolavská vrchoviště. *Arnika*, číslo 2. [online]. [cit. 6. 2. 2021]

MAURER, E. P., H. G. HIDALGO, T. DAS, M. D. DETTINGER, CAYAN, D. R. (2010): The utility of daily large-scale climate data in the assessment of climate change impacts on daily stream flow in California. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 14, 1125–1138.

MÁNEK, J. (1998): Vegetace a chemismus tekoucích vod horního Pootaví jako indikátory antropogenního zatížení. *Silva Gabreta, Vimperk*, č. 2, s. 117-140.

NAVRÁTILOVÁ, D. (2020): Změny geochemismu povrchových vod ve vybraných povodích Krušných hor. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 132 s.

NOVÁK, F. (2012): Export DOC z rašelinišť. Literární rešerše.

NOSKOVIČ, J., BABOŠOVÁ, M., PORHAJAŠOVÁ, J., TÁRNÍK, A., VARGA, V. (2013): Time and Place changes in pH and conductivity in the water of Čaradice stream. *Acta horticulturae et regionecturae*, Nitra, č. 1, s. 24-28.

PITTER, P. (1990): *Hydrochemie*. 2., přepracované vydání. SNTL, Praha, 565 s. ISBN 80-03-00525-6.

PONZIANI, M., SLOB, E. C., NGAN-TILLARD, D. J. M., VANHALA, H. (2011): Influence of water content on the electric conductivity of peat. *International Water Technology Journal*, 1, 1, 14–21.

PROKŠ, M. (2010): Odtokový režim v povodí Hamerského potoka se zaměřením na reakci pH vody ve vybraných povodňových epizodách. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.

PUCZKO, K., JEKATIERYN CZUK-RUDCZYK, E. (2020): Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. *Scientific Reports*, 10, 1.

RITSON, J., BELL, M., GRAHAM, N., TEMPLETON, M., BRAZIER, R., VERHOEF, A., FREEMAN, C., CLARK, J. (2014): Simulated climate change impact on summer dissolved organic carbon release from peat and surface vegetation: Implications for drinking water treatment. *Water research*, 67, 66 – 76.

RODRÍGUEZ-MURILLO, J.C., ZOBRIST, J., FILELLA, M. (2014): Temporal trends in organic carbon content in the main Swiss rivers, 1974-2010. *Science of the Total Environment*, 502, 206- 217.

ROSTAMI, S., HE, J., HASSAN, Q. (2018): Riverine water quality response to precipitation and its change. *Environments*, 5, 1, článek č. 8.

- RUPP, H., MEISSNER, R., LEINWEBER, P. (2004): Effects of extensive land use and rewetting on diffuse phosphorus pollution in fen areas – Results from a case study in the Drömling catchment, Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167, 4, 408– 416.
- PAN, L., DAI, J., WU, Z., WAN, Z., ZHANG, Z., H, J., LI, Z., XIE, X., XU, B. (2020): Spatio-Temporal dynamics of riverine nitrogen and phosphorus at different catchment scales in Huixian Karst Wetland, Southwest China. *Water*, 12, 10,
- SELLE, B., KNORR, K. H., LISCHIED, G. (2019): Mobilisation and transport of dissolved organic carbon and iron in peat catchments—Insights from the Lehstenbach stream in Germany using generalised additive models. *Hydrological Processes*, 33, 25, 3213 – 3225.
- SENHORST, H., ZWOLSMAN, J. (2005): Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water science and technology*, 51, 5, 53 – 59.
- SCHAFFER, R., SAS, I., HELDMANN, C. (2020): Water supply in times of climate change – Tracer tests to identify the catchment area of an Alpine Karst Spring, Tyrol, Austria. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 52, 1, 70 – 86.
- SINGLEY, J.G., WLOSTOWSKI, A.N., BERGSTROM, A.J., SOKOL, E.R., TORRENS, C.L., JAROS, C., WILSON, C.E., HENDRICKSON, P.J., GOOSEFF, M.N. (2017): Characterizing hyporheic exchange processes using high-frequency electrical conductivity-discharge relationships on subhourly to interannual timescales. *Water Resources Research*, 55, 5, 4124 – 4141.
- SLODIČÁK M., BALCAR V., NOVÁK J., ŠRÁMEK V. (2008): Lesnické hospodaření v Krušných horách. 479s.
- SOULSBY, C., MALCOLM, R., GIBBINS, C. AND DILKS, C. (2001): Seasonality, water quality trends and biological responses in four streams in the Cairngorm Mountains, Scotland. *Hydrology and Earth system Science*, 5, 3, 433–450.
- SU, Y., LANGHAMMER, J., JARSJO, J. (2017): Geochemical responses of forested catchments to bark beetle infestation: Evidence from high frequency in-stream electrical conductivity monitoring. *Journal of Hydrology*, 550, 635 – 649.
- ŠKVOR, V., LORENZ, W. (1964): Geologická mapa ČSSR: mapa předčtvrtohorních útvarů 1:200 000 M-33-VIII Chabařovice – Dresden. Ústřední ústav geologický, Praha.
- ŠPRINGEROVÁ, P. (2019): Změny koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách v pramenných oblastech. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 147 s.

TIEMEYER, B., FRINGS, J., KAHLE, P., KOHNE, S., LANNARTZ, B. (2007): A comprehensive study of nutrient losses, soil properties and groundwater concentrations in a degraded peatland used as an intensive meadow – implications for re-wetting. *Journal of hydrology*, 345, 80 – 101.

TIWARI, T., SPONSELLER, R. A., LAUDON, H. (2019): Contrasting responses in dissolved organic carbon to extreme climate events from adjacent boreal landscapes in Northern Sweden. *Environmental Research Letters*, 14, 8.

TOLASZ, R. a kol. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého. 256 s.

VASSILJEV, A., ANNUS, I., KANDLER, N., KAUR, K. (2020): Modelling of nitrogen concentrations in water from drained peat soils. *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, 69, 3, 288 – 297.

VLACH, V. (2016): *Extrémní hydrologické jevy v povodí Rolavy*. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 66 s.

VLČEK, L., KOCUM, J., JÁNSKÝ, B., ŠEFRNA, L., KUČEROVÁ A. (2012): Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště: Případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy, JZ. Česko. *Geografie*, 117, 4, 395 – 414.

XU, J., LIU, R., NI, M., ZHANG, J., JI, Q., XIAO, Z. (2021): Seasonal variations of water quality response to land use metrics at multi-spatial scales in the Yangtze River basin. *Environmental Science and Pollution Research*

YANG, Q., ZHANG, X., XU, X., ASRAR, G. R. (2017): An Analysis of Terrestrial and Aquatic Environmental Controls of Riverine Dissolved Organic Carbon in the Conterminous United States. *Water*, 2017, 9, 383.

ZUECCO, G., PENNA, D., BORGA, M. (2018): Runoff generation in mountain catchments: Long-term hydrological monitoring in Rio Vauz Catchment, Italy. *Cuadernos de investigación geográfica*, 44, 2, 397 – 428.

ZUECCO, G., PENNA, D., BORGA, M., VAN MEERVELD, H.J. (2016): A versatile index to characterize hysteresis between hydrological variables at the runoff event timescale. *Hydrological Processes*, 30, 1449 – 1466.

Internetové zdroje

AOPK ČR (2021): Národní přírodní rezervace Rolavská vrchoviště. [online]. [cit. 5. 2. 2021].

Dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/lokality/?idlokality=13957/>

ARCDATA PRAHA (2020): Arc ČR 4.0 – Geografické informační systémy – ARCDATA [online]. [cit. 3. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-4-0>

CLIMATE-DATA.ORG: Climate diagrams: Carlsfeld, Přebuz, [online]. [cit. 4. 2. 2021]. Dostupné z: <https://en.climate-data.org/>

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2021): WMS služby – Česká geologická služba [online]. [cit. 4. 2. 2021]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2021): Hydrologické sucho. [online]. [cit. 31. 1. 2021]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Hydrologicke_sucho.html

ČHMÚ (2021): Chaloupky. Český hydrometeorologický ústav. [online, cit. 3. 2. 2021] Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/popup_hpps_prfdyn.php?seq=20745439

ČMeS (2017): Meteorologický slovník. [online]. [cit. 2. 7. 2021] Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>

ČSÚ (2021): Databáze demografických údajů za obce ČR [online]. [cit. 5. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/databaze-demografickych-udaju-za-obce-cr>

ČÚZK (2010): Databáze ZABAGED [online]. [cit. 4. 2. 2021]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1ibpprayuryrmk4xbhivkg2t\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](https://geoportal.cuzk.cz/(S(1ibpprayuryrmk4xbhivkg2t))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

EEA (2021): Corine Land Cover – Copernicus Land Monitoring Service [online]. [cit. 4. 2. 2021]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

KRUŠNÉ HORY (2021): Národní přírodní rezervace Rolavská vrchoviště – Krušné hory, Krušnohorský myslet, žít a snít [online]. [cit. 5. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.krusnohorsky.cz/2012/09/18/narodni-prirodni-rezervace-rolavska-vrchoviste/>

NOVÉ HAMRY (2021): Historie: Z historie obce: Nové Hamry [online]. [cit. 5. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.novehamry.eu/z-historie-obce/d-11646/p1=213>

PRVK (2018): Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Karlovarského kraje. Nové Hamry [online]. [cit. 5. 2. 2021] Dostupné z: http://webmap.krkarlovarsky.cz/prvk/PDF/KARTY/CZ041_0048_01.pdf

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA (2020): Digitální báze vodohospodářských dat DIBAVOD [online]. [cit. 1. 3. 2021] Dostupné z: <https://www.dibavod.cz/>

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Měrné profily, z nichž byla využita data pro zpracování bakalářské práce

Tabulka 2 – Suchá období vybraná pro účely této práce

Tabulka 3 – Pražové hodnoty pro profily SLA2 a ROL1

Tabulka 4 – 3-denní a 7-denní minimální Q pro profil SLA2

Tabulka 5 – Vybrané období 2. – 8. 8. 2018

Tabulka 6 – Vybrané období 2. – 8. 9. 2019

Tabulka 7 – Vybrané období 16. – 22. 5. 2020

Tabulka 8 – Vybrané období 18. – 24. 9. 2020

Tabulka 9 – Zařazení do tříd jakosti vod pro profil ROL1 pro roky 2013 – 2020

Tabulka 10 - Zařazení do tříd jakosti vod pro profil SLA2 pro roky 2013 – 2020

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Umístění měrných profilů v povodí horní Rolavy

Obrázek 2 – Typy tvarů hysterézních smyček

Obrázek 3 – Geologická mapa povodí horní Rolavy

Obrázek 4 - Výškové poměry v povodí horní Rolavy

Obrázek 5 - Poloha meteorologických stanic v okolí povodí horní Rolavy

Obrázek 6 - Klimadiagramy pro (zleva) meteorologické stanice Carlsfeld a Přebuz

Obrázek 7 - Krajinový pokryv v roce 2018 v povodí horní Rolavy

Seznam grafů

Graf 1 - Chod denních průměrných průtoků v profilu SLA2 mezi lety 2018 a 2020

Graf 2 – Sezonalita 10 minimálních denních průtoků v jednotlivých hydrologických letech pro profily SLA2 a ROL1

Graf 3 – Sezonalita 10 maximálních denních průtoků jednotlivých hydrologických letech pro profily SLA2 a ROL1

Graf 4 - Procentuální výskyt průtoků nižších než prahové hodnoty pro profil SLA2

Graf 5 - Procentuální výskyt průtoků nižších než prahové hodnoty pro profil ROL1

Graf 6 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2018 na profilu SLA2

Graf 7 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2019 na profilu SLA2

Graf 8 – Chod průtoků a srážek v průběhu hydrologického roku 2020 na profilu SLA2

Graf 9 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 2. 8. do 8.8. 2019 na profilu SLA2

Graf 10 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 2. 8. do 8.8. 2019 na profilu SLA2

Graf 11 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 2. 9. do 8.9. 2019 na profilu SLA2

Graf 12 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 2. 9. do 8.9. 2019 na profilu SLA2

Graf 13 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 16. 5. do 22. 5. 2020 na profilu SLA2

Graf 14 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 16. 5. do 22. 5. 2020 na profilu SLA2

Graf 15 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 18. 9. do 24. 9. 2020 na profilu SLA2

Graf 16 – Chod teploty vzduchu, vody a úhrnů srážek v období od 18. 9. do 24. 9. 2020 na profilu SLA2

Graf 17 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 11. 3. do 15. 3. 2018 na profilu SLA2

Graf 18 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 11. 3. do 15. 3. 2018

Graf 19 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 8. 9. do 11. 9. 2019 na profilu SLA2

Graf 20 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 8. 9. do 11. 9. 2019

Graf 21 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období 10. 3. do 14. 3. 2020 na profilu SLA2

Graf 22- Chod teplot vzduchu a srážek v období od 10. 3. do 14. 3. 2020

Graf 23 – Hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 10. 3. do 14. 3. 2020

Graf 24 – Chod průměrných hodinových hodnot průtoku a konduktivity v období od 18. 6. do 23. 6. 2020 na profilu SLA2

Graf 25 – Chod průtoku a konduktivity a hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 18. 6. do 19. 6. 2020

Graf 26 – Chod průtoku a konduktivity a hysterézní smyčka EC-Q pro profil SLA2 v období od 19. 6. do 21. 6. 2020

Graf 27 – Průměrné hodnoty rozp. O₂ pro jednotlivé roky

Graf 28 – Průměrné hodnoty N-NO₃⁻ pro jednotlivé roky

Graf 29 – Průměrné hodnoty Fe pro jednotlivé roky

Graf 30 – Průměrné hodnoty P_{celk.} pro jednotlivé roky

Graf 31 – Průměrné hodnoty huminových látek pro jednotlivé roky

Graf 32 – Chod pH během ročních období

Graf 33 – Závislost pH na průtoku během jara

Graf 34 – Chod rozp. O₂ během jara

Graf 35 – Chod N-NH₄ a N-NO₃⁻ během jara

Graf 36 – Chod N-NH₄ a N-NO₃⁻ během léta

Graf 37 – Chod huminových látek a průtoku

Přílohy

Příloha 1 – Chod konduktivity a průtoku pro období 28. 10. – 2. 11. 2017 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

Příloha 2 – Chod konduktivity a průtoku pro období 23. 6. – 25. 6. 2017 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

Příloha 3 – Chod konduktivity a průtoku pro období 26. 9. – 28. 9. 2020 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

Příloha 4 – Chod konduktivity a průtoku pro období 9. 1. – 16. 1. 2020 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

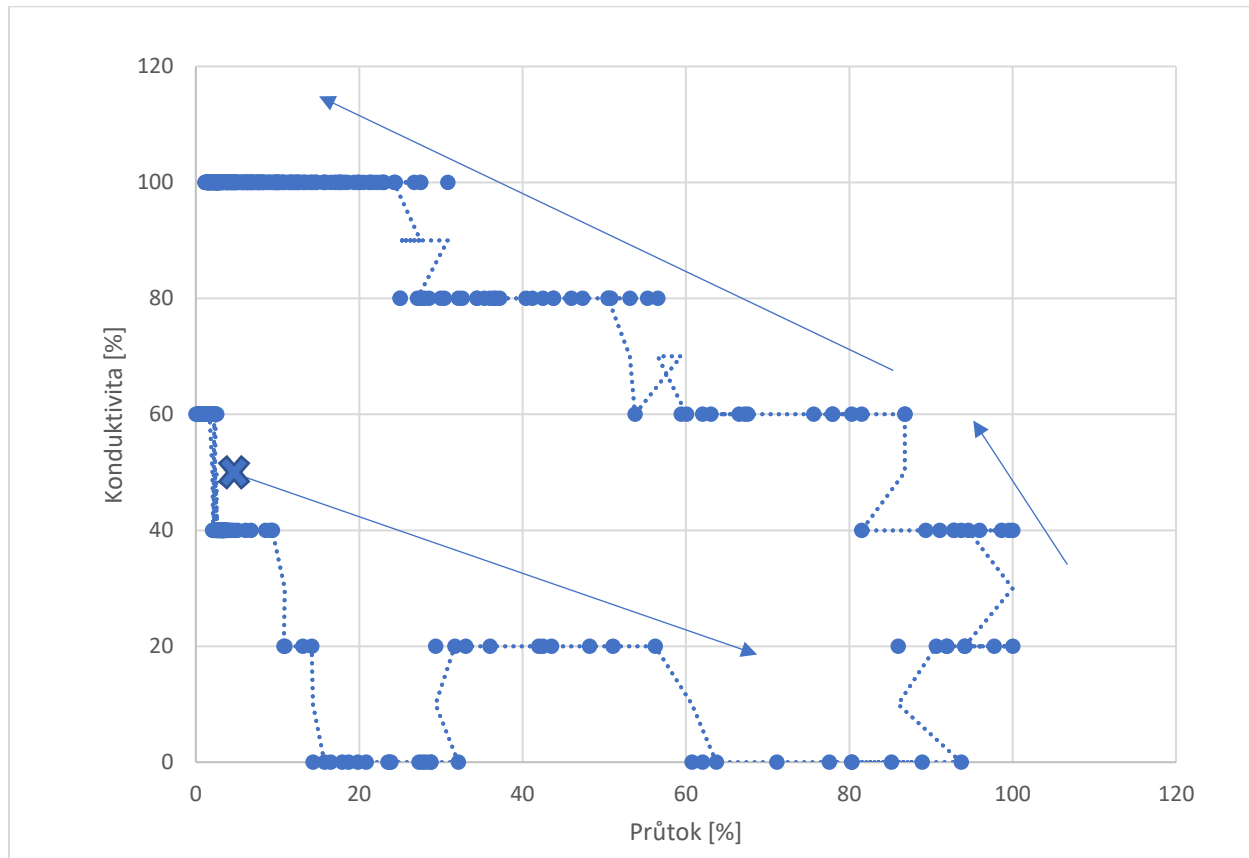
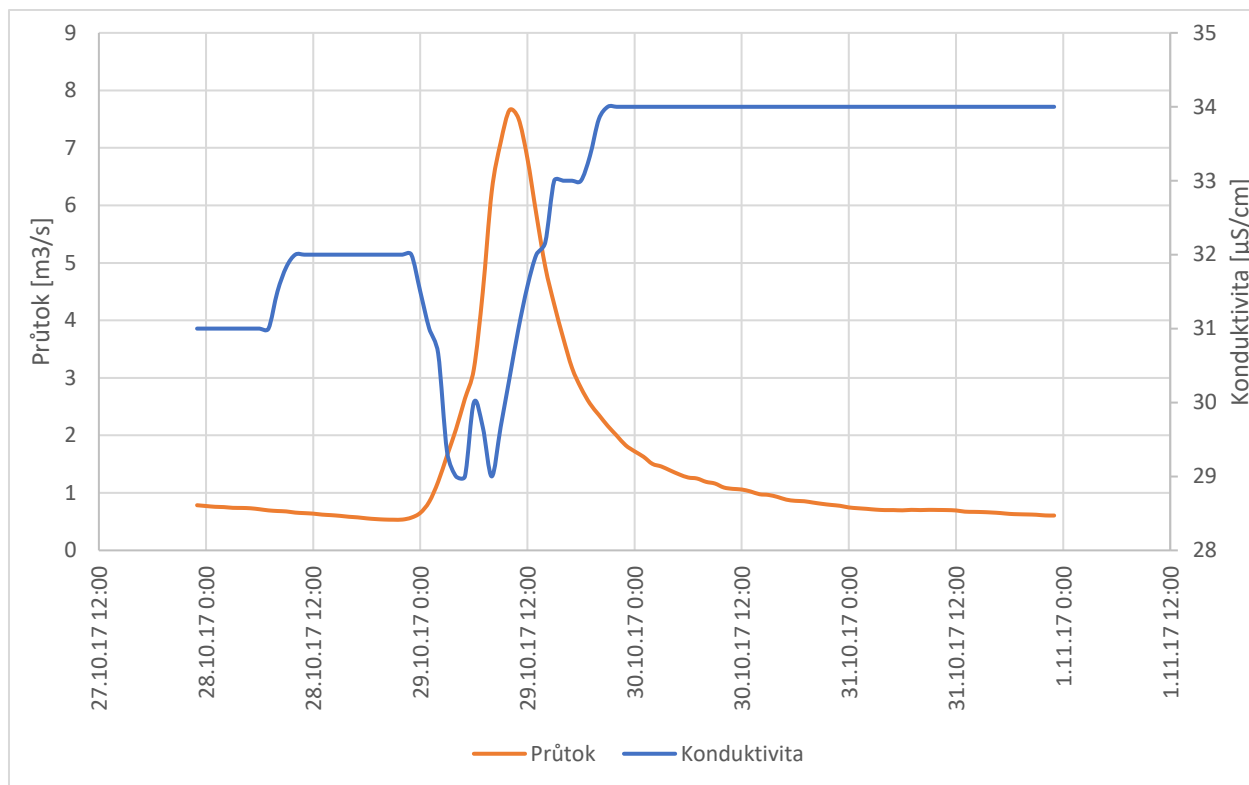
Příloha 5 – Chod konduktivity a průtoku pro období 8. – 11. 12. 2018 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

Příloha 6 – Chod konduktivity a průtoku pro období 23. – 27. 9. 2018 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

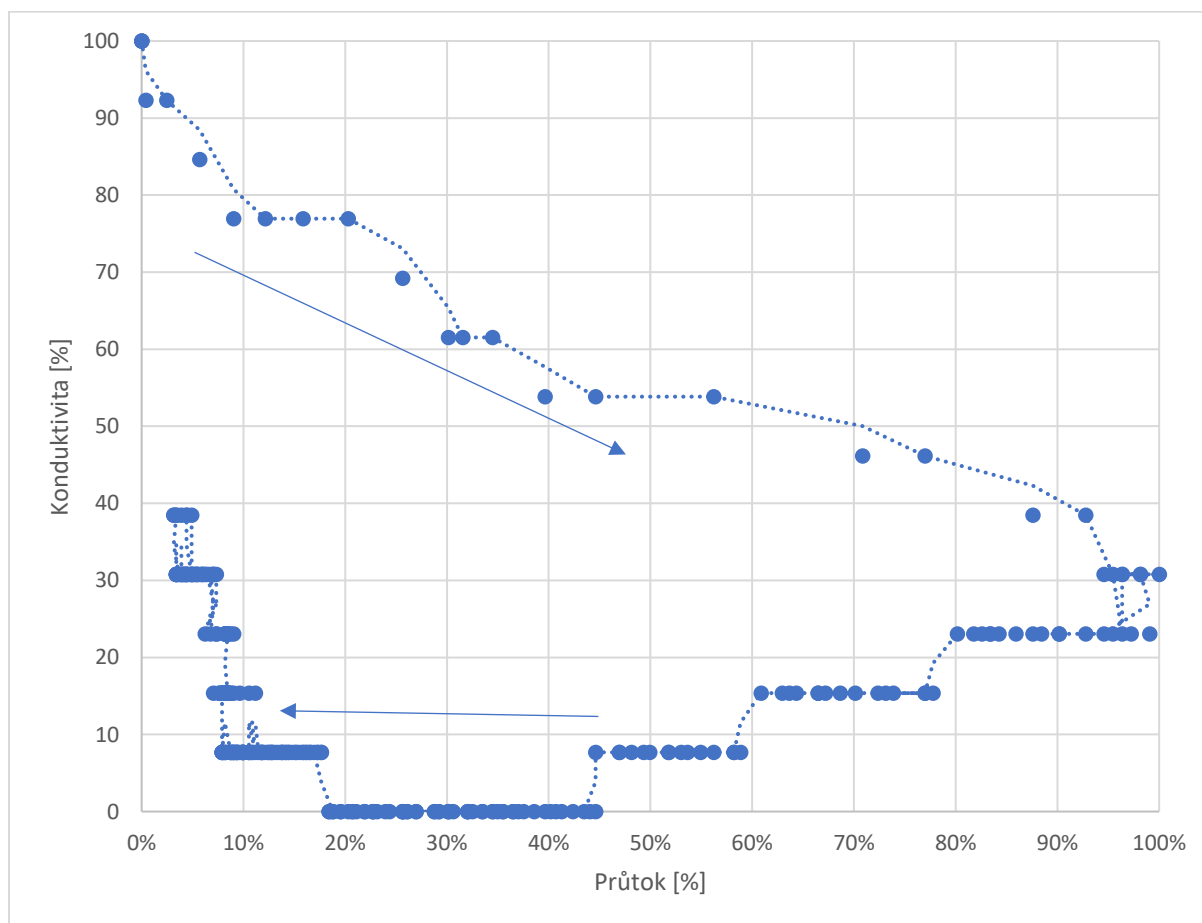
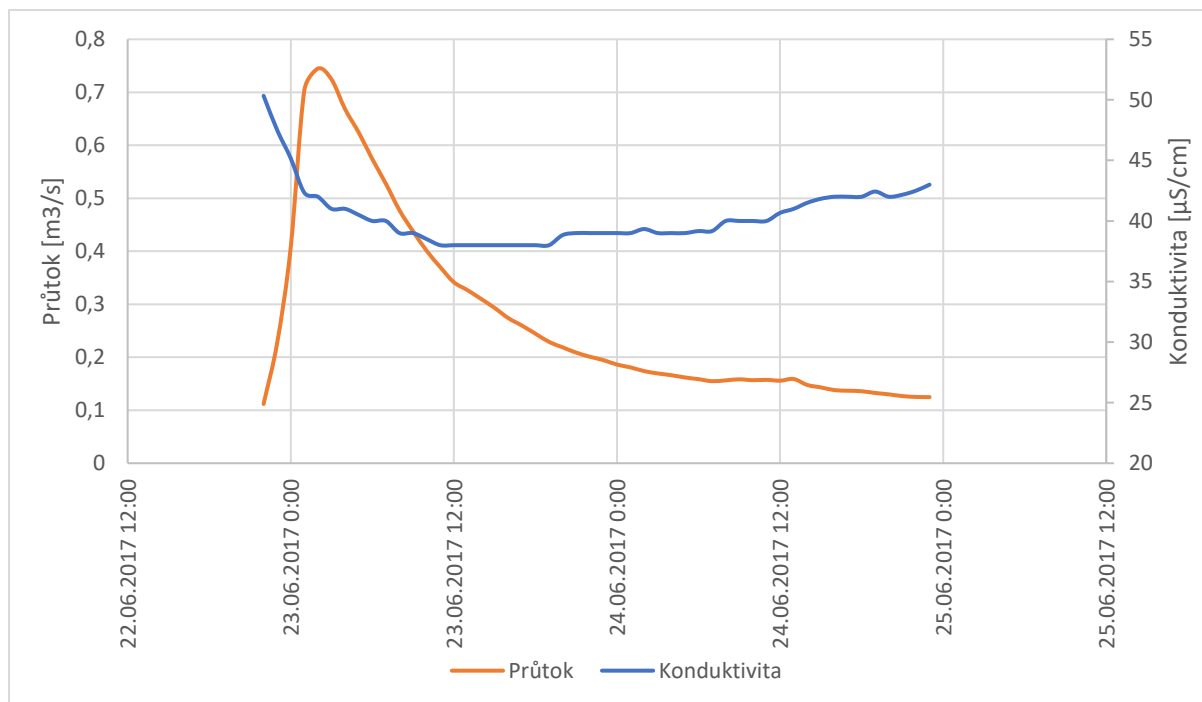
Příloha 7 – Chod konduktivity a průtoku pro období 11. – 14. 5. 2019 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

Příloha 8 – Chod konduktivity a průtoku pro období 10. – 13. 2. 2019 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka

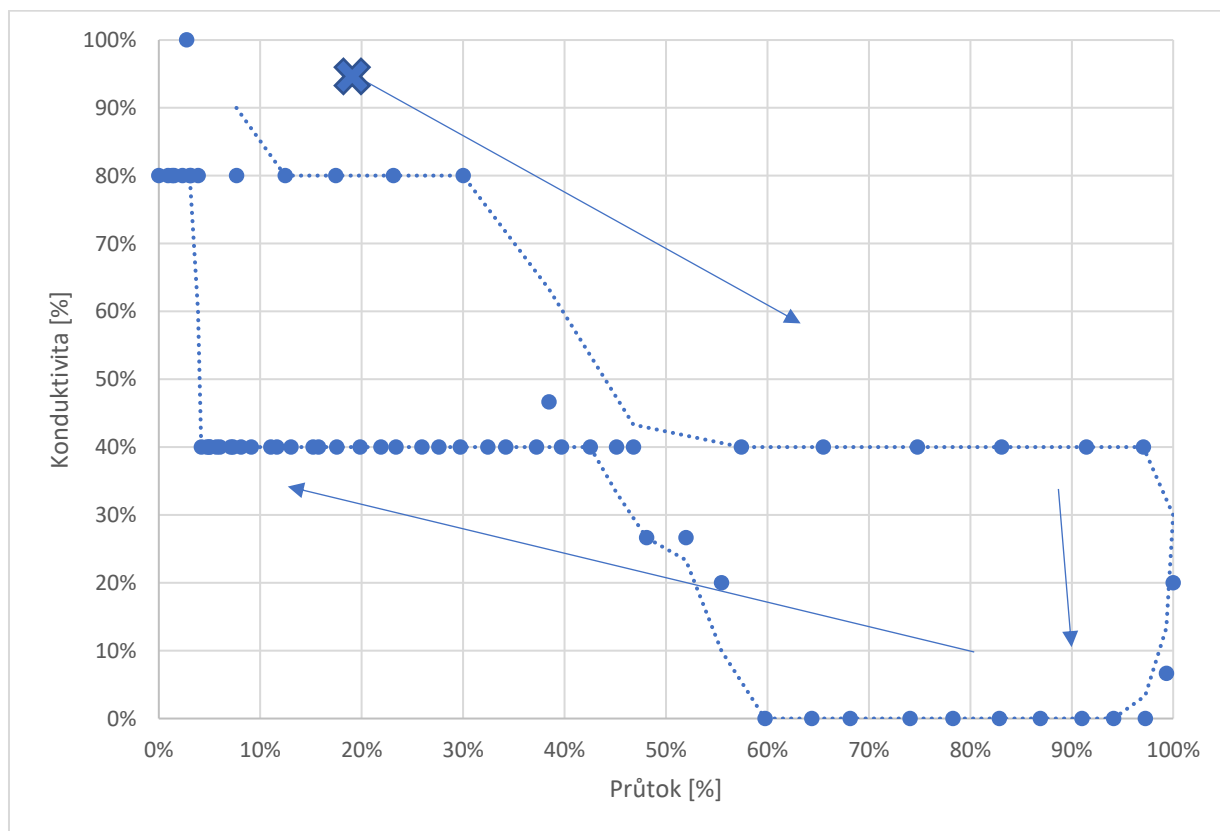
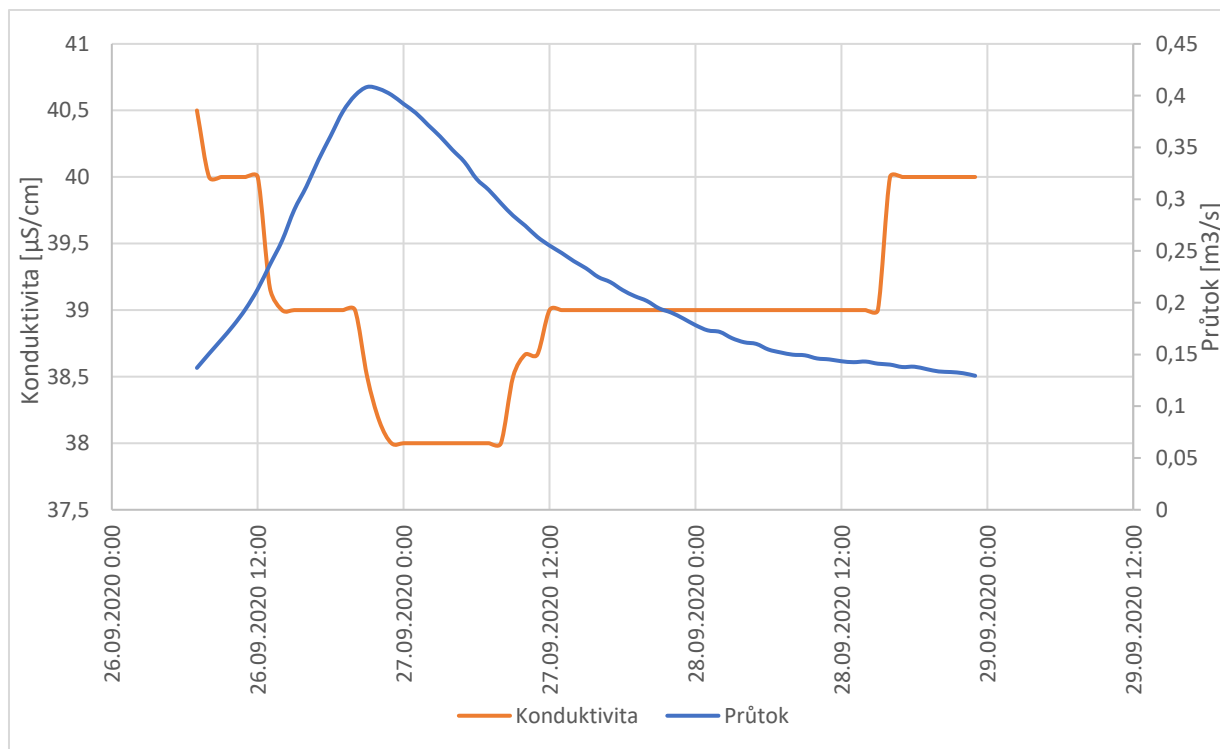
Příloha 1 – Chod konduktivity a průtoku pro období 28. 10. – 2. 11. 2017 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



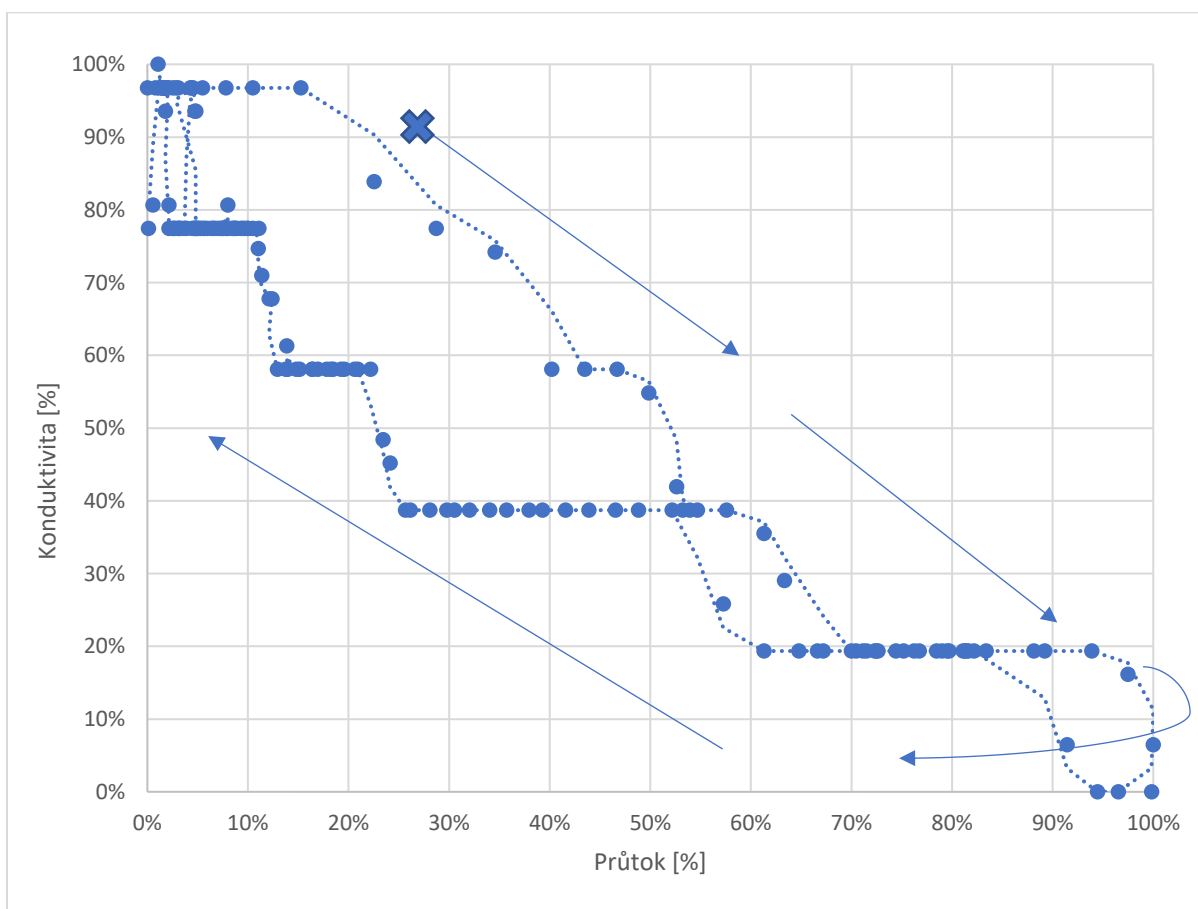
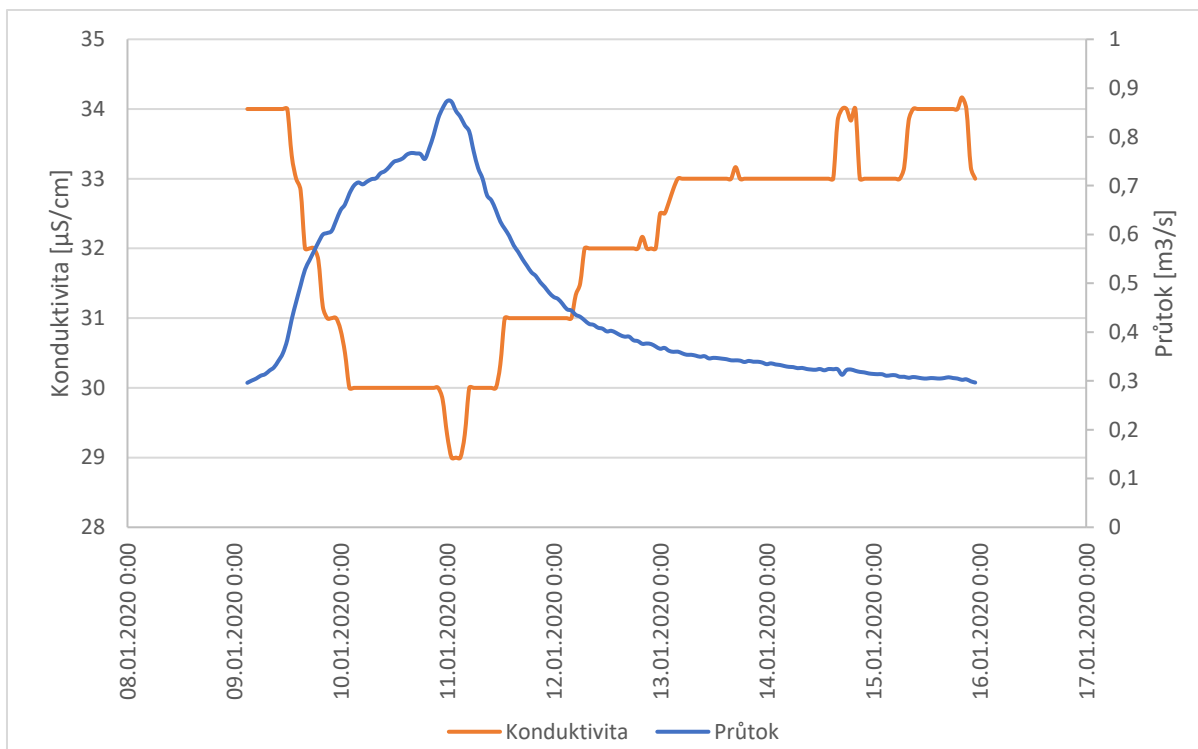
Příloha 2 – Chod konduktivity a průtoku pro období 23. 6. – 25. 6. 2017 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



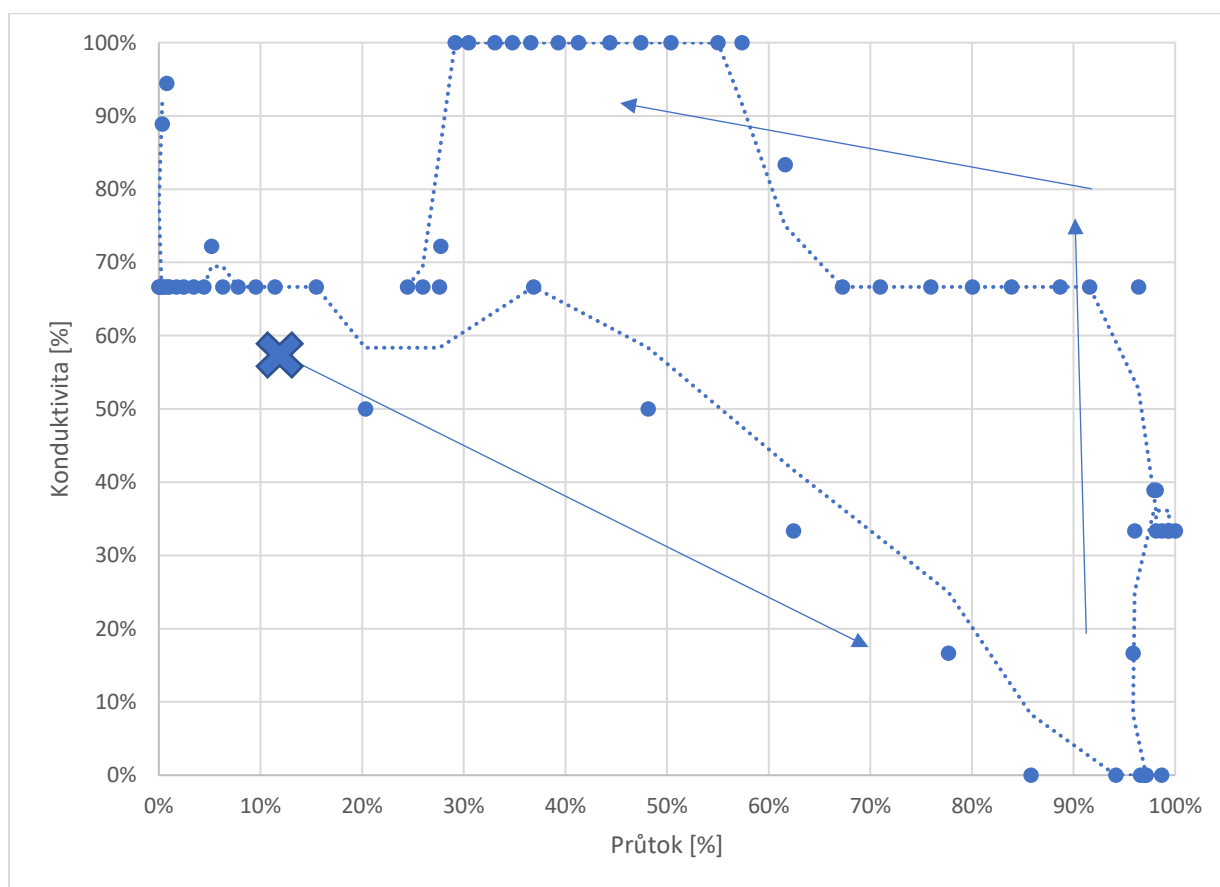
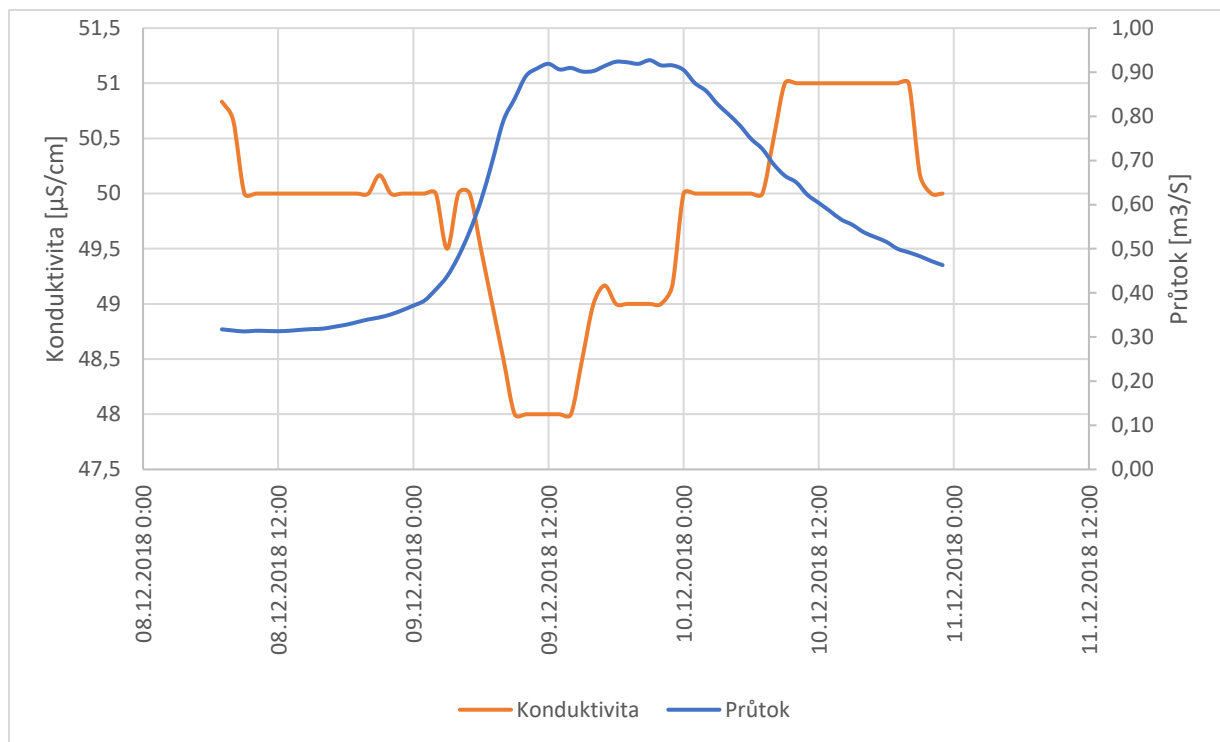
Příloha 3 – Chod konduktivity a průtoku pro období 26. 9. – 28. 9. 2020 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



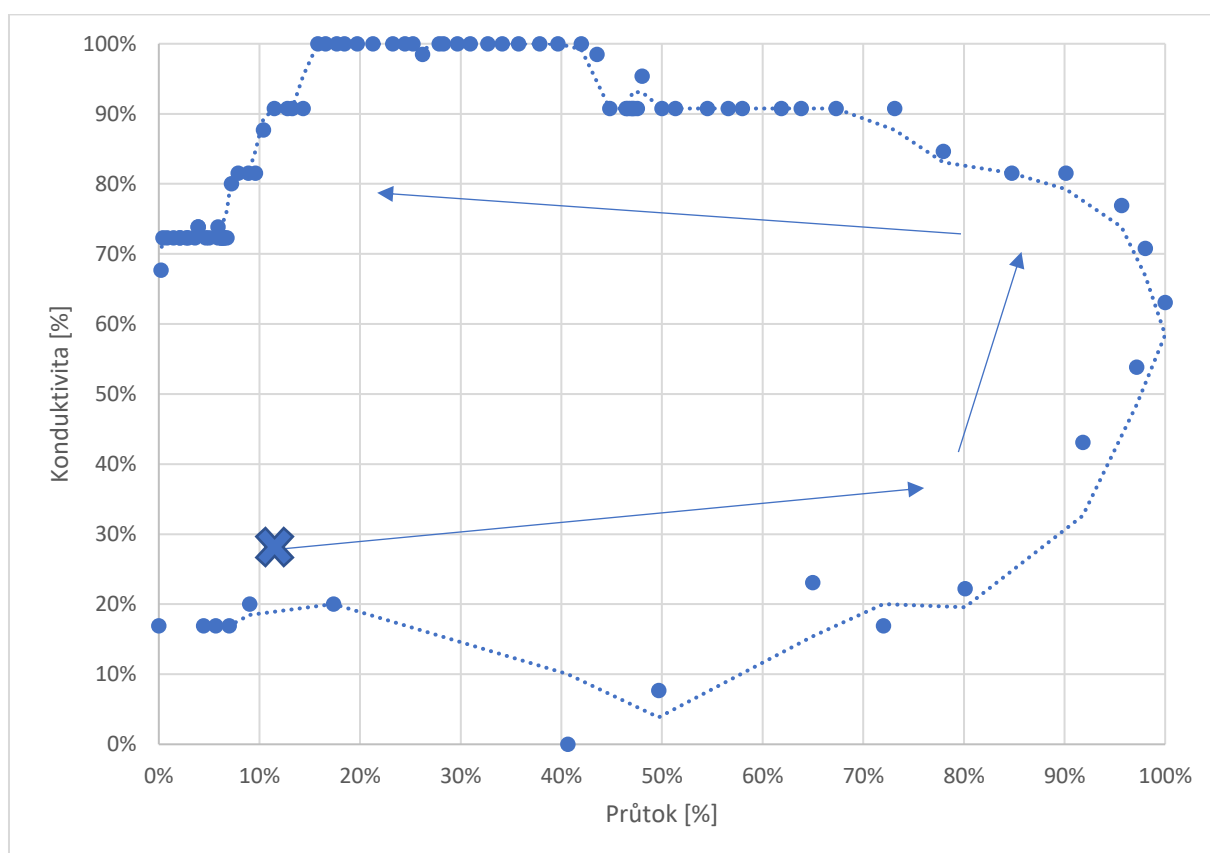
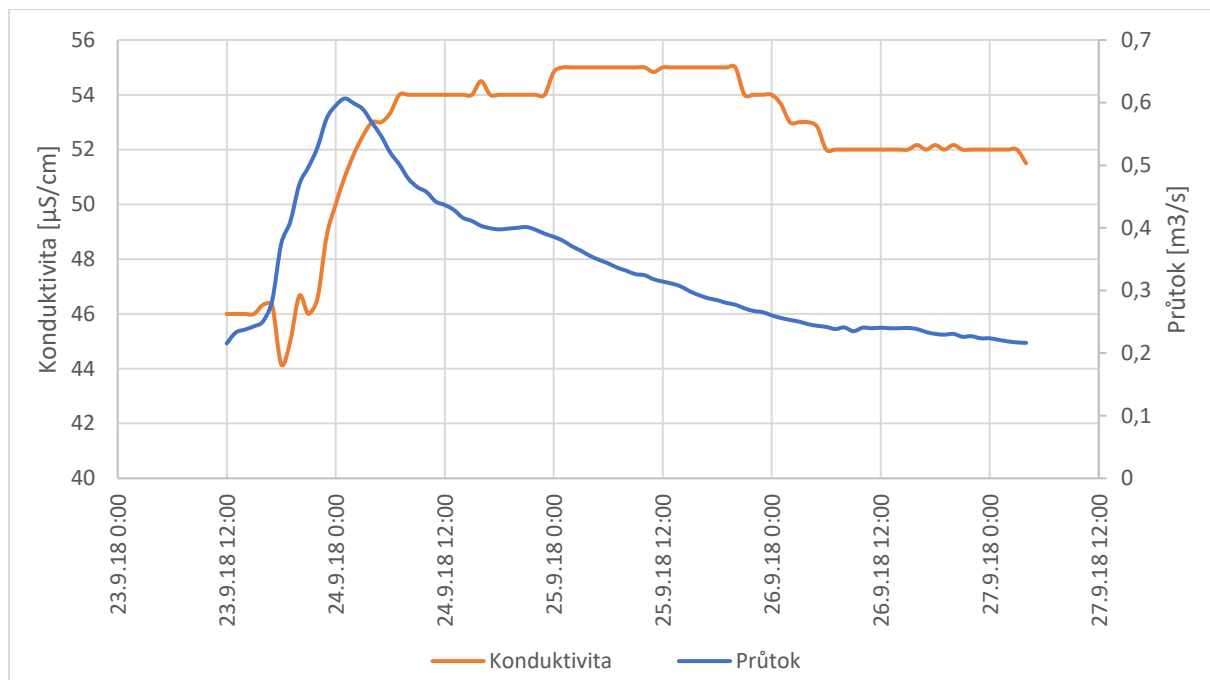
Příloha 4 – Chod konduktivity a průtoku pro období 9. 1. – 16. 1. 2020 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



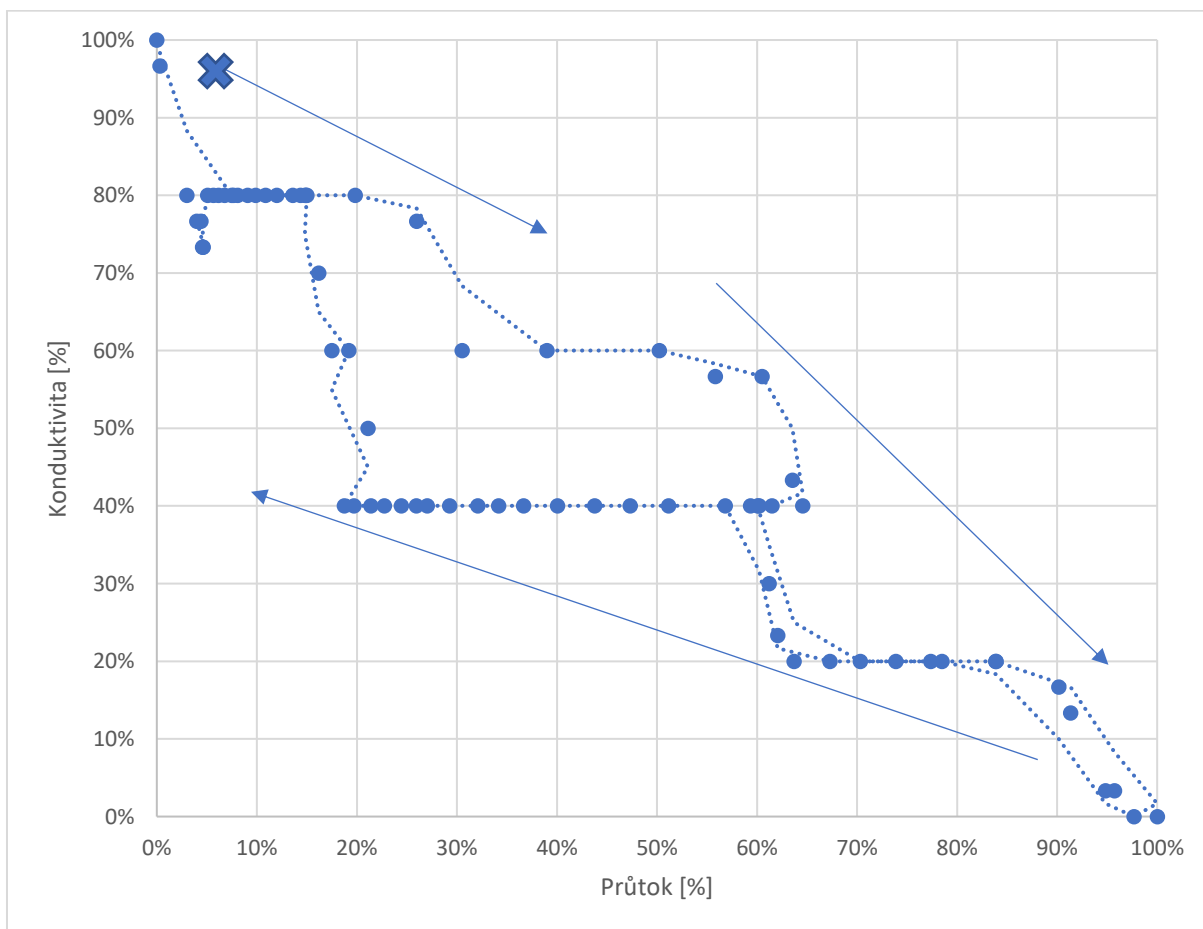
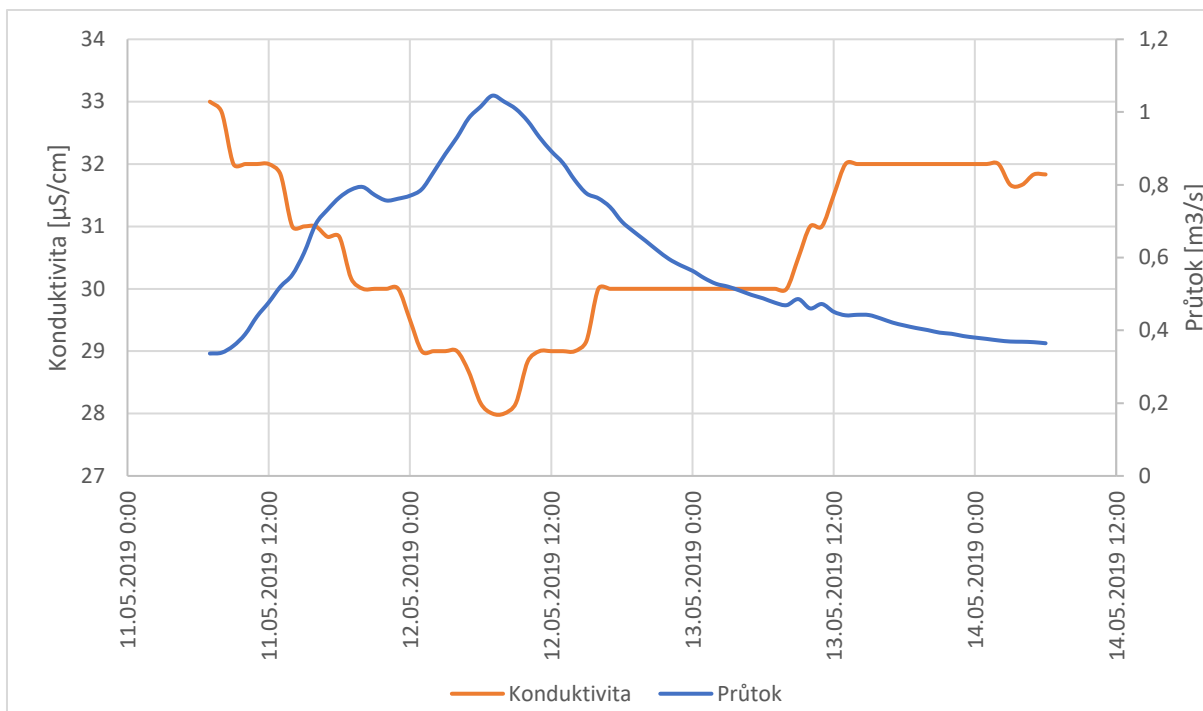
Příloha 5 – Chod konduktivity a průtoku pro období 8. – 11. 12. 2018 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



Příloha 6 – Chod konduktivity a průtoku pro období 23. – 27. 9. 2018 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



Příloha 7 – Chod konduktivity a průtoku pro období 11. – 14. 5. 2019 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK



Příloha 8 – Chod konduktivity a průtoku pro období 10. – 13. 2. 2019 pro profil SLA2 a příslušná hysterézní křivka, Zdroj: vlastní zpracování na základě dat KFGG PŘF UK

